

Ferrovie

italmodel

MARZO 1979
sped. in abb.post.gr. III/70
lire 2400

224



Nascita dell'E.330

Prima locomotiva trifase a quattro velocità con completa utilizzazione dei motori, l'E.330 rappresenta un momento fondamentale dello sviluppo del sistema trifase. In questo articolo le principali tappe che hanno condotto dal primo brevetto del 1907 alla costruzione e all'immissione in servizio di sedici locomotive nel 1914.

In questa prima parte: Premessa - Concezione - Realizzazione.

Erminio Mascherpa

«Un vero e proprio tentativo di sforzar la natura»: con queste parole sarcastiche un ingegnere delle FS definiva le locomotive E.330, pochi mesi dopo la loro costruzione. Tale definizione aveva e conserva tuttora una parte di verità, perchè il motore elettrico a induzione, sul quale sono fondate tutte le locomotive trifasi, per sua natura ha la caratteristica di funzionare sempre ad un'unica velocità, e oggi potremmo dire che tutta la storia delle locomotive trifasi è un "tentativo di sforzar la natura": infatti è una storia di artifici escogitati per riuscire a farle marciare a più di una sola velocità.

La necessità di creare locomotive trifasi che potessero marciare a due velocità di regime e possibilmente di più, come occorre per l'esercizio ferroviario, ha sollecitato gli ingegni per più di un quarto di secolo, portando all'ideazione di una quantità cospicua di schemi, alcuni dei quali mai realizzati o addirittura irrealizzabili, altri applicati concretamente con alterni risultati, ma nessuno completamente soddisfacente.

In questo quadro la locomotiva E.330 occupa un posto preminente essendo stata la prima a risolvere il problema della velocità in modo veramente razionale, cioè senza l'espedito grossolano di duplicare gli avvolgimenti dei motori o addirittura i motori stessi, come si era fatto su alcune locomotive della Valtellina e del Sempione. In questo senso si può affermare che le E.330 sono state le prime locomotive trifasi "moderne".

Prima dell'E.330 altre locomotive, per esempio l'E.550, potevano marciare a più di una velocità con pieno sfruttamento dei motori; tuttavia non c'è dubbio che quanto al problema della velocità l'E.330 ha segnato una tappa più avanzata, poichè disponeva di *quattro* velocità ottenute secondo un

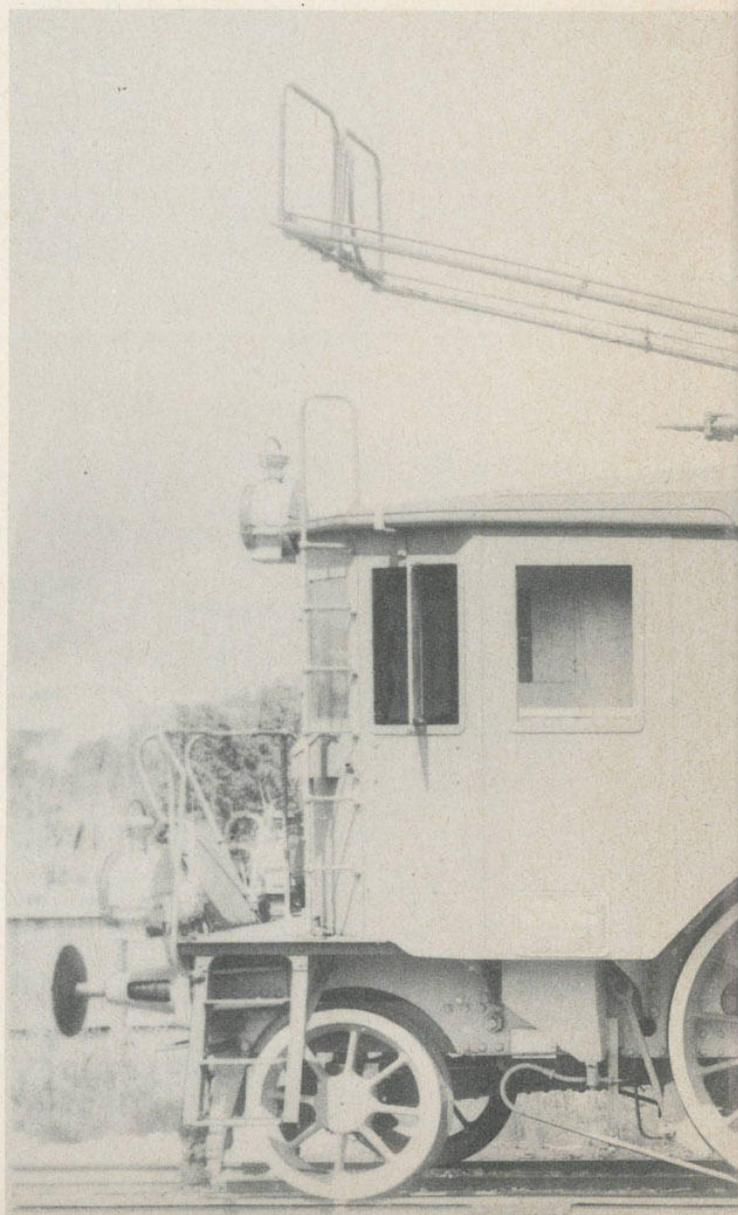
principio che ha costituito la base di tutte le realizzazioni successive (unica eccezione l'E.331).

Perciò mi è parso opportuno ricordare l'E.330 e gli uomini che l'hanno creata.

Concezione

La storia dell'E.330 incomincia in Germania. Il 13 giugno 1907 a Berlino, nell'Ufficio Brevetti Imperiale, viene depositato il brevetto che per la nostra locomotiva costituisce il fondamentale punto di partenza. L'ideatore è Manu Stern, uno slesiano di Gleiwitz (città oggi appartenente alla repubblica di Polonia col nome di Gliwice): egli si può considerare il padre dell'E.330.

Nel brevetto di Manu Stern è esposto lo schema



A lato:

frontespizio del brevetto del 1907 che ha dato origine alle locomotive E.330. L'ideatore, Manu Stern, può essere considerato il padre di queste macchine.

Sotto:

locomotiva E.330.005 in una classica fotografia di fabbrica, presa nello stabilimento di Vado Ligure della Società Italiana Westinghouse nel 1914 (foto TIBB)

d'avvolgimento che verrà adottato in forma pressochè inalterata negli statori dei motori dell'E.330; e implicitamente viene stabilito un criterio che sarà poi seguito in tutte le locomotive trifasi veloci di costruzione posteriore (salvo la solita E.331), cioè quello di accettare un numero di fasi della corrente nei motori *anche diverso da tre* pur di ottenere una semplificazione sostanziale dell'equipaggiamento. A differenza delle locomotive precedenti, i motori di trazione dell'E.330 saranno dunque polifasi, anziché solamente trifasi (costituiscono un precedente di scarso rilievo sotto questo aspetto le due loco-

KAISERLICHES  PATENTAMT.

PATENTSCHRIFT

— № 200661 —

KLASSE 21 a. GRUPPE 43.

MANU STERN IN GLEIWITZ.

Verfahren zur Änderung der Geschwindigkeit von achtpoligen oder mehrmal achtpoligen Drehstrommotoren durch abwechselnde Benutzung einer Dreiphasen- und einer Zweiphasenbewicklung.

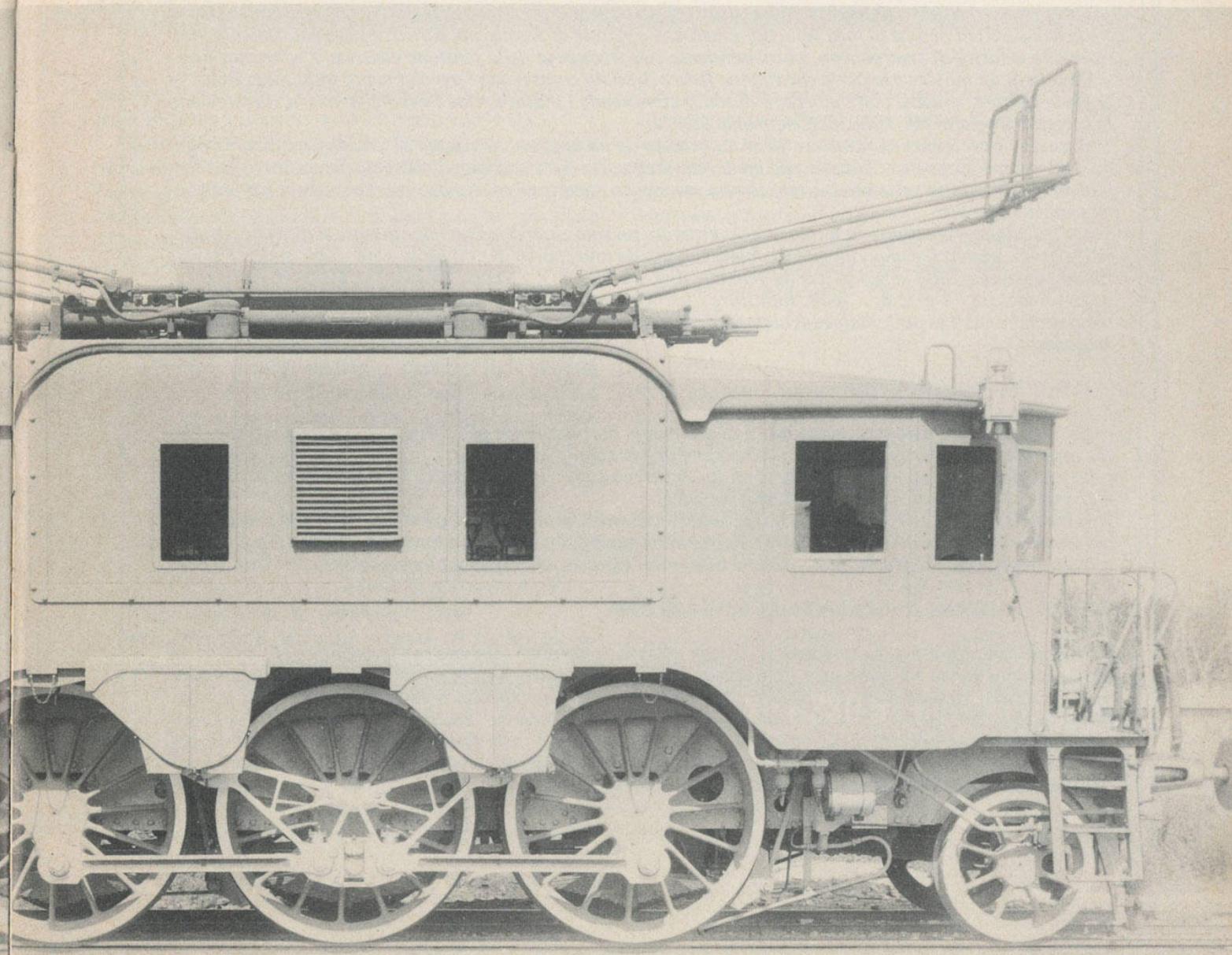
Patentiert im Deutschen Reiche vom 13. Juni 1907 ab.

Die bisher bekannten Verfahren zur Regelung der Geschwindigkeit von Induktionsmotoren mittels Änderung der Polzahl von 8 — n-Polen auf 6 — n-Pole setzen bei Anwendung von nur einer Wicklung im Stator oder Rotor die Verwendung einer Trommelwicklung voraus, deren Anwendung infolge der häufigen Kreuzung der einzelnen Wicklungselemente für Hochspannung mit großen Isolierungsschwierigkeiten verbunden ist. Diese Schwierigkeiten können in bekannter Weise durch Anwendung zweier unabhängiger Wicklungen wohl teilweise behoben werden, indem die eine der Wicklungen als gewöhnliche Dreiphasenwicklung, die andere aber als Zweiphasenwicklung geschaltet ist und je nach Bedarf abwechselnd entweder die eine oder die andere der beiden Wicklungen gespeist wird; die erzielten Vorteile werden jedoch

nommenen Zweiphasenstrom gespeist wird. Es werden demnach vor und nach der Umschaltung sämtliche Wicklungselemente benutzt, wodurch eine gute Raumnutzung und somit guter Wirkungsgrad und geringere Kosten gewährleistet sind.

Fig. 1 zeigt schematisch die Anordnung der Spulenköpfe der Primärwicklung eines achtpoligen Drehstrommotors. Die Pfeile N und S bedeuten die durch Erregung einer Phase erzeugten Nord- und Südpole des achtpoligen Feldes. Die zu einer Phase gehörigen Wicklungselemente sind nach derselben Art gezeichnet. So sind z. B. alle Spulen der ersten Phase 1_a, 1_b, 1_c, 1_d mit vollen Linien gezeichnet, während die zweite Phase punktiert, die dritte Phase gestrichelt gezeichnet ist. Die Wicklungselemente bestehen aus längeren Säulen, also aus solchen

ABGEBEN DEN 21. JULI 1908.



CIRCUITI E MOTORI POLIFASI

Per una migliore comprensione di quanto pubblicato in questo articolo, richiamiamo brevemente alcune nozioni e definizioni sui motori a corrente alternata polifasi.

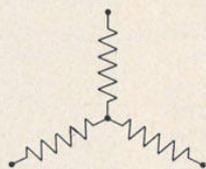
CIRCUITI POLIFASI

I circuiti polifasi sono costituiti da un insieme di circuiti monofasi, opportunamente collegati, le cui tensioni (e correnti) sono ordinatamente sfasate fra loro nel tempo: così un insieme di 3 circuiti monofasi con tensioni sfasate di un terzo di periodo costituisce un sistema trifase; un insieme di 4 circuiti monofasi con tensioni sfasate di un quarto di periodo costituisce un sistema tetrafase; e così di seguito.

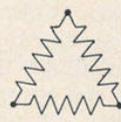
Un caso particolare sono i circuiti bifasi, costituiti da 2 avvolgimenti monofasi sfasati fra loro di un quarto di periodo come i sistemi tetrafasi.

I circuiti polifasi possono essere connessi a stella oppure a poligono. La connessione a poligono in un circuito trifase è ovviamente una connessione a triangolo, mentre in un circuito bifase essa è impossibile.

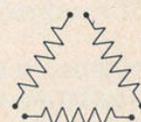
Un circuito si dice polifase aperto quando i singoli circuiti monofasi che lo costituiscono non sono collegati elettricamente fra loro.



TRIFASE A STELLA



TRIFASE A TRIANGOLO



TRIFASE APERTO

MOTORI POLIFASI A INDUZIONE

Sono i motori industriali più semplici e diffusi che esistano: il più comune di essi è il trifase. Sono chiamati anche asincroni perché la loro velocità, pressoché costante al variare del carico, è sistematicamente inferiore alla velocità di sincronismo, corrispondente alla frequenza della tensione elettrica d'alimentazione.

Statore di un motore è la parte che rimane fissa e di solito comprende l'avvolgimento induttore. Rotore è la parte rotante, solidale con l'albero, e di solito comprende l'indotto, cioè l'avvolgimento in cui circolano le correnti prodotte per induzione elettromagnetica.

Quando l'avvolgimento induttore viene alimentato da un opportuno sistema di tensioni polifase, esso genera un campo magnetico, rotante alla medesima frequenza della tensione d'alimentazione. Corrispondentemente, nell'indotto sottoposto a tale campo magnetico rotante circola una corrente generata per induzione elettromagnetica.

Se l'induttore è costituito in modo tale da generare un solo campo magnetico rotante, si dice che il motore è a 2 poli, perché il campo magnetico è individuato da una coppia di poli (polo nord - polo sud); se invece l'induttore è costituito in modo tale da generare due, tre, quattro, campi magnetici, si dice di conseguenza che il motore è a 4, 6, 8, ... poli. Induttore e indotto devono essere disposti contemporaneamente per un medesimo numero di poli, indipendentemente dal numero delle fasi che può essere anche diverso nei due avvolgimenti.

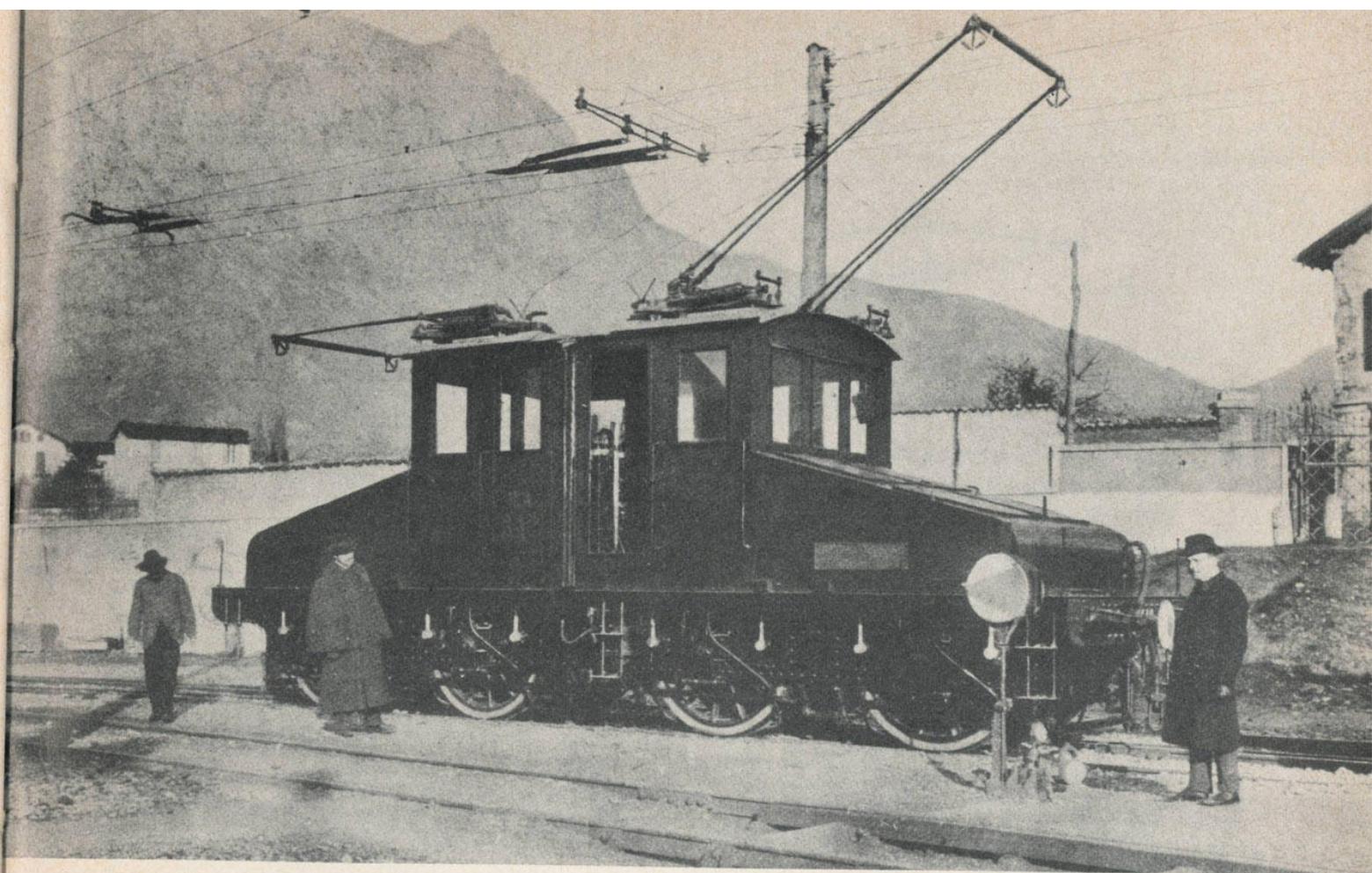
VELOCITA' DEL MOTORE

La velocità di un motore a induzione è direttamente proporzionale alla frequenza d'alimentazione. Ferma restando la frequenza, la velocità è inversamente proporzionale al numero di poli. Se sull'indotto si inserisce un carico elettrico, costituito per esempio da un reostato, la caratteristica del motore diventa più dolce e la velocità può essere regolata variando il carico.

Il motore polifase a induzione è spontaneamente reversibile: allorché al suo albero sia applicata una coppia motrice che tenda ad aumentarne la velocità al di sopra della velocità di sincronismo, esso funziona non più da motore ma da generatore e restituisce energia elettrica alla linea d'alimentazione.

COLLEGAMENTO IN CASCATA DI DUE MOTORI

Due motori polifasi sono collegati in cascata quando le correnti generate per induzione nell'indotto del primo motore vanno ad alimentare l'induttore del secondo motore. Se due motori collegati in cascata sono anche collegati meccanicamente fra loro (come nel caso delle locomotive trifasi), la loro velocità praticamente si dimezza: infatti il primo motore, che ha sull'indotto il carico costituito dal secondo motore, può assumere solo una velocità metà del normale, in corrispondenza della quale anche le tensioni generate nel suo indotto hanno metà frequenza di quella di rete e quindi il secondo motore, risultando alimentato a frequenza dimezzata, dimezza anch'esso la propria velocità.



motive 364 e 365 del Sempione, nei cui motori veniva indotto un sistema di correnti esafase).

Nello schema ideato dallo Stern si prevede una variazione del numero di fasi da tre a due, cioè il passaggio da trifase a bifase, in concomitanza della variazione del numero di poli da 8 a 6 che consente di ottenere la desiderata variazione di velocità nel rapporto 6:8 (come è noto, in un motore polifase la velocità è inversamente proporzionale al numero di poli).

A prima vista il brevetto di Manu Stern non sembra arrecare grandi vantaggi rispetto agli schemi già noti, ma solo complicazioni: nello stesso anno 1907 i costruttori svizzeri hanno applicato, nei motori delle loro locomotive trifasi del Sempione, il principio della variazione del numero di poli, stabilito dal fisico croato Nicola Tesla fin dal 1888, ottenendo fino a quattro velocità di regime (con l'espedito di duplicare gli avvolgimenti). Ora questo nuovo brevetto viene a promettere solo due velocità e, per giunta, a prezzo di mutare addirittura l'alimentazione da trifase a bifase!

Ma nell'ultima parte del brevetto si parla apertamente del suo vero fine, che apporterebbe un decisivo salto di qualità nelle locomotive trifasi: realizzare una locomotiva a quattro velocità con pieno sfruttamento dei motori ad ognuna di esse. Le altre due velocità potrebbero essere ottenute mediante il collegamento in cascata di due motori, una disposizione già nota che ne dimezza la velocità. Quanto alla necessità di disporre anche di un'alimentazio-

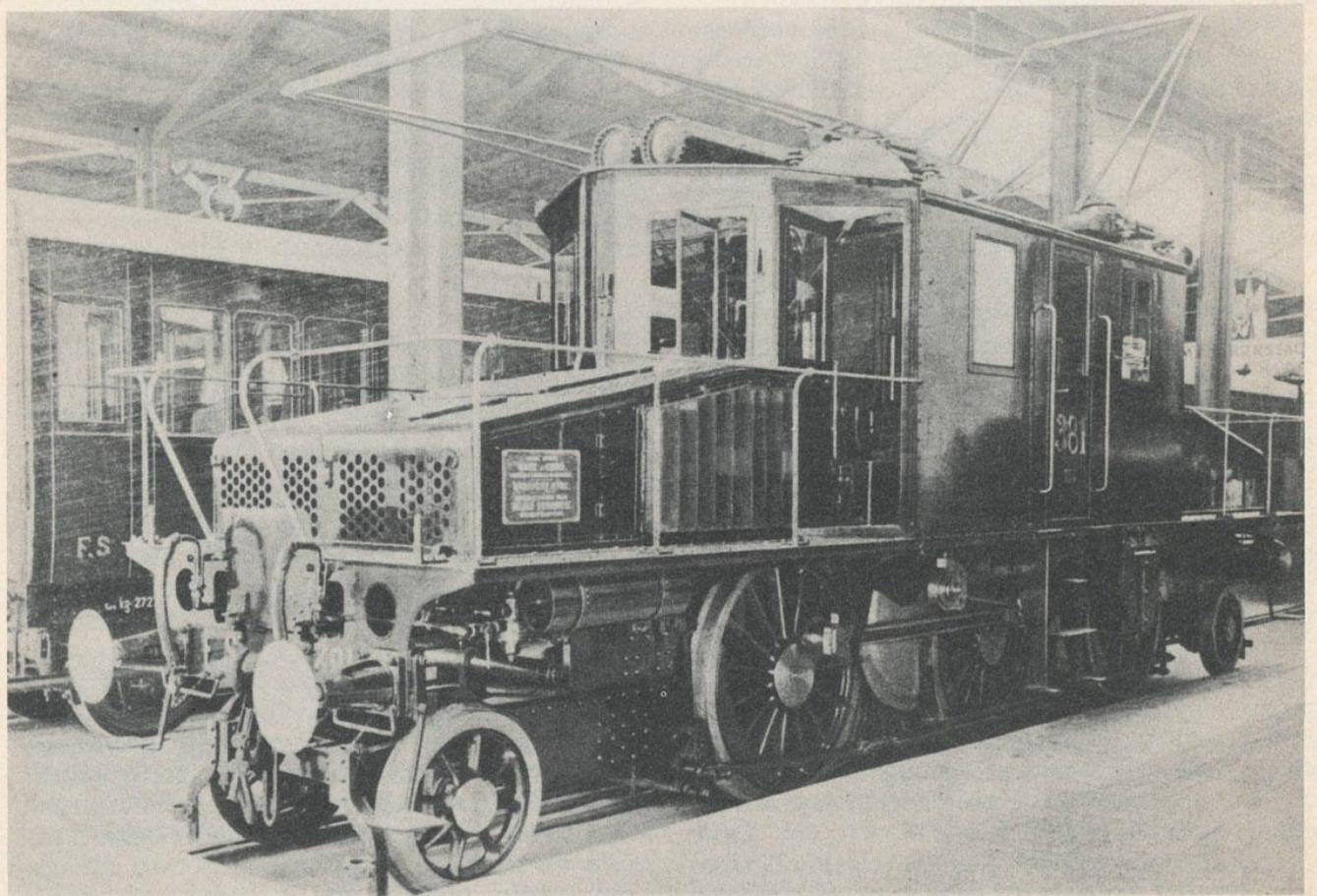
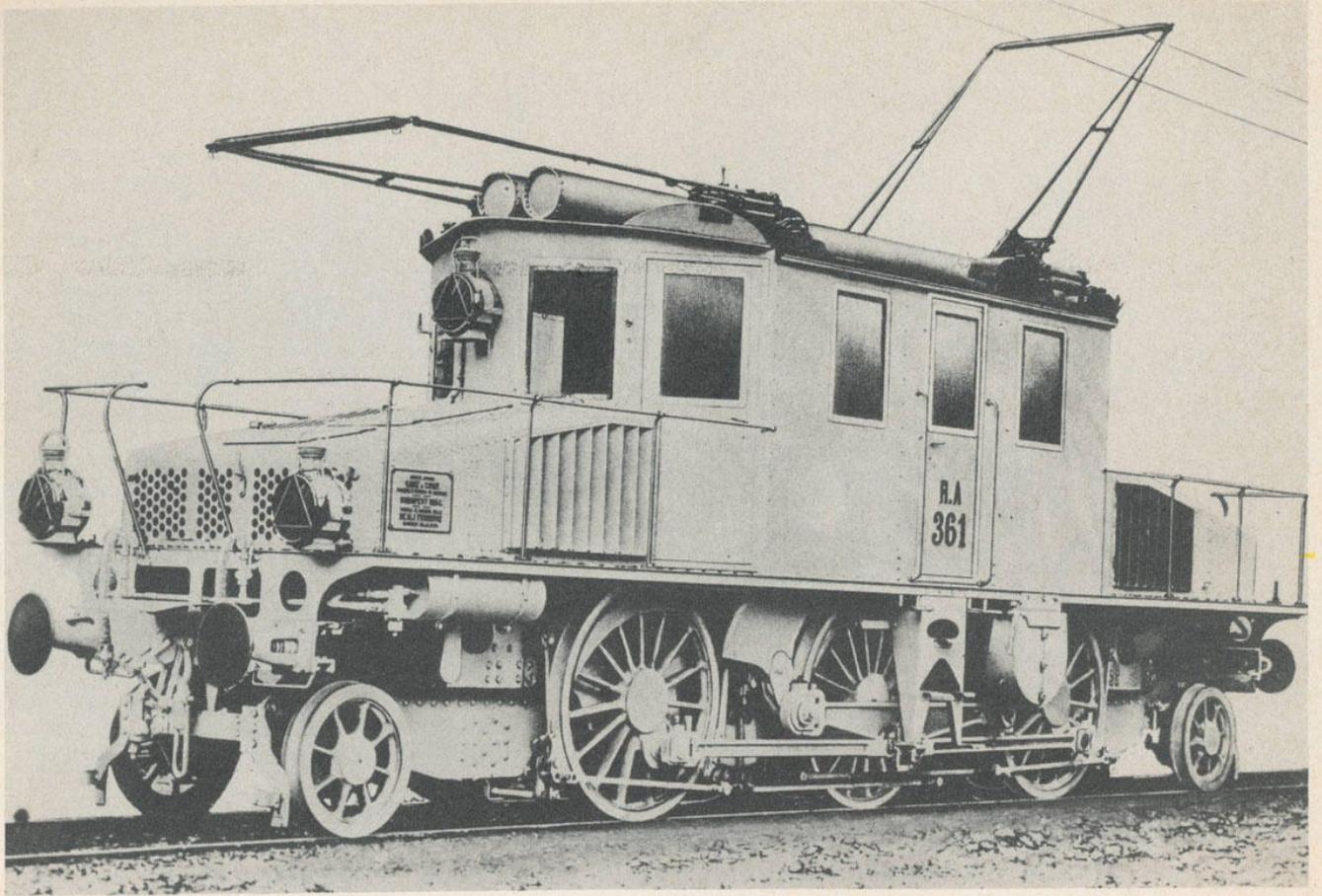
Il motore trifase ha la caratteristica di funzionare normalmente a velocità fissa, perciò le prime locomotive trifasi, eccettuato il periodo dell'avviamento, potevano marciare ad un'unica velocità.

Vediamo la locomotiva RA 342 (poi FS E.430.002), costruita in Ungheria, a Lecco intorno al 1902, nel periodo sperimentale della trazione elettrica in Valtellina (foto FS)

ne bifase per i motori, Manu Stern suggerisce di ricorrere ad un autotrasformatore di tipo Scott, idoneo a convertire la tensione di linea da trifase a bifase.

È lo schema che sarà dell'E.330. Ma non è ancora realizzabile in pratica, perchè manca un avvolgimento per i rotori adatto allo scopo.

La variazione del numero di poli *nel rotore* è il punto cruciale di tutti gli schemi di questo tipo, causa la difficoltà pratica di variare i collegamenti elettrici in un circuito che è in rotazione. La soluzione più largamente adottata consiste nel riportare su un combinatore esterno al motore i punti da commutare, derivandoli dal rotore mediante collettori e spazzole; ma con i limiti di spazio abituali nelle locomotive ciò è possibile solo se il numero di punti da commutare è basso, e quindi è basso il numero dei rispettivi anelli collettori, dato che ciascun anello richiede un ingombro trasversale



A sinistra:

prima locomotiva trifase a due velocità (31 e 63 km/h), classificata RA 361 (poi FS E.360.001). Per ottenere due velocità si faceva ricorso all'espedito di equipaggiare la locomotiva con quattro motori, due dei quali funzionanti solo alla velocità più bassa. È evidente la macchinosità del sistema, che comportava un grande spreco di materiale pregiato (foto FS)

In basso:

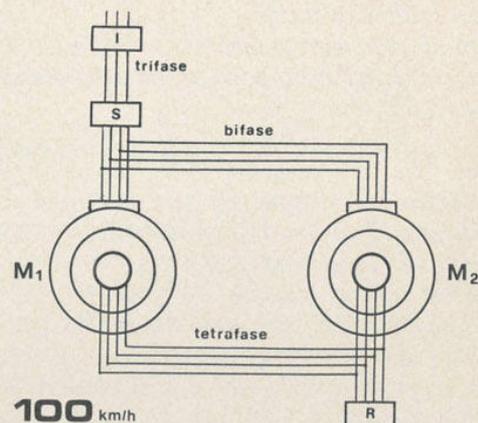
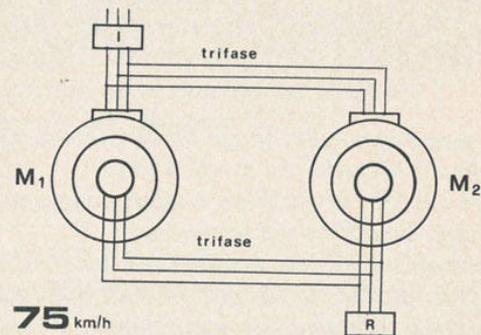
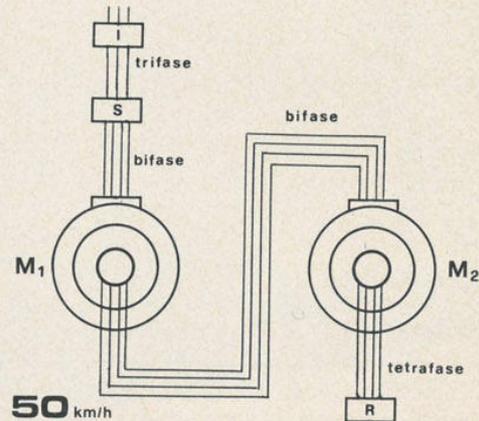
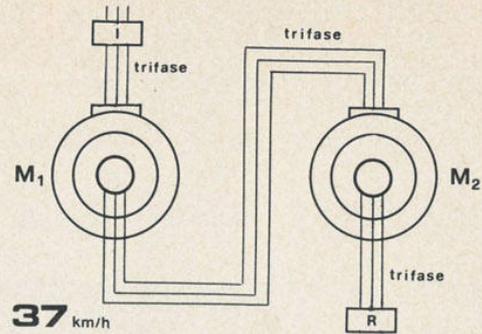
nel 1906 con la locomotiva FS 381 si ottenevano per la prima volta tre velocità (25, 42 e 63 km/h), ma anche qui con grandissimo spreco di materiale: infatti i suoi due motori potevano funzionare contemporaneamente soltanto alla velocità più bassa. Anche questa locomotiva, esteticamente simile (ma non uguale) alla 361, era stata costruita a Budapest dalla Ganz & C., con parte meccanica allestita dalla Fabbrica delle regie Ferrovie dello Stato Ungheresi (MÁV Géppgyár), per la linea della Valtellina; la vediamo in mostra all'Esposizione Internazionale di Milano del 1906. (foto FS)

dell'ordine delle decine di millimetri, per la necessità di un adeguato isolamento e di una buona accessibilità alle spazzole per le operazioni di manutenzione.

Perciò lo schema dello Stern, che richiede la commutazione di ventiquattro punti del circuito, difficilmente potrebbe essere applicato anche al rotore, non essendoci spazio sufficiente ad ospitare il grosso collettore a 24 anelli che sarebbe necessario, salvo sacrificare le dimensioni del motore e quindi anche la potenza e la forza di trazione dell'intera locomotiva.

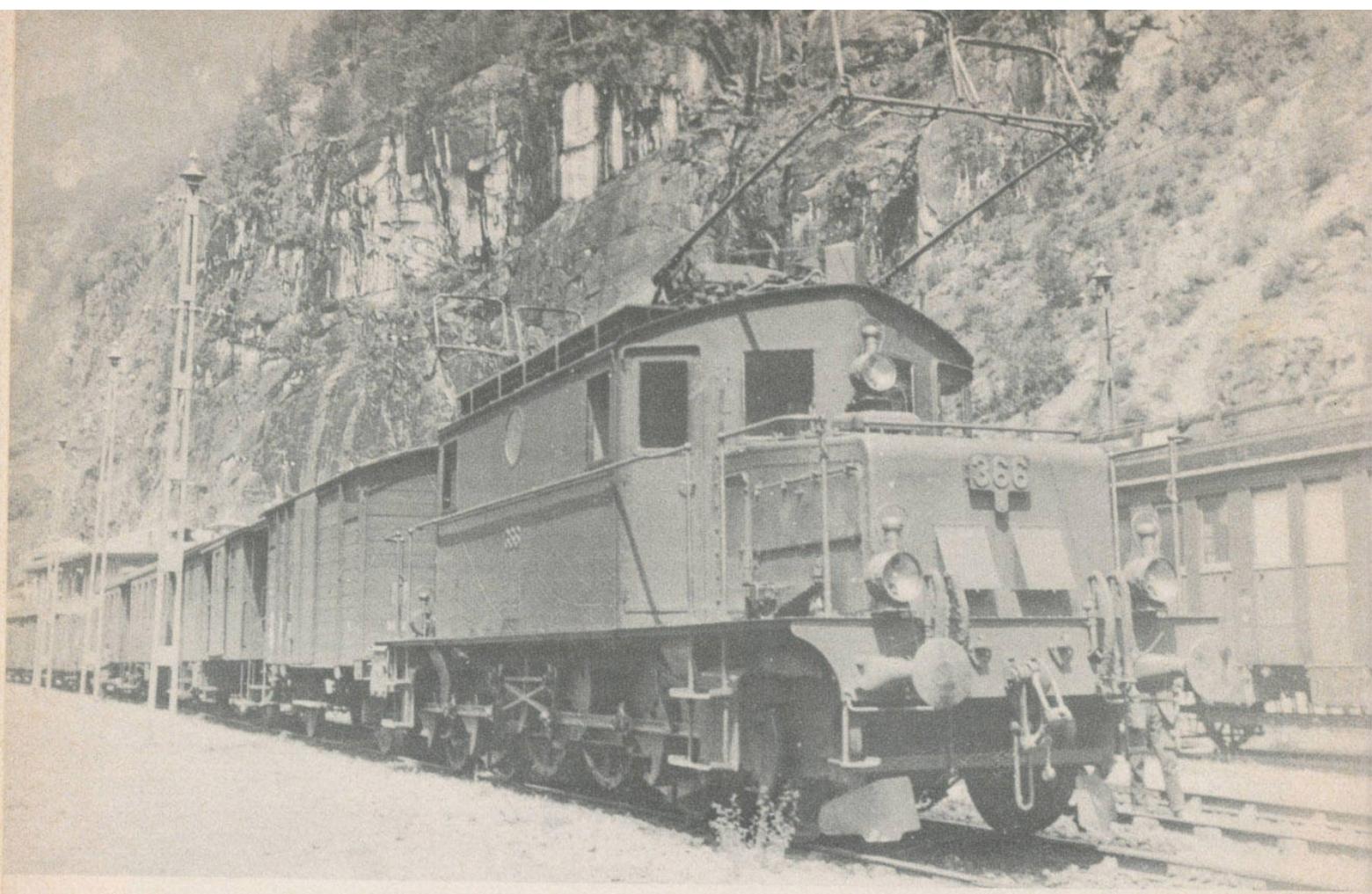
Altre soluzioni proposte da Manu Stern per superare l'ostacolo, come quella di costruire combinatori solidali con i rotori e quindi rotanti insieme ad essi, appaiono difficilmente realizzabili e di dubbia affidabilità. (I combinatori rotanti hanno avuto applicazione concreta solo sulle locomotive E.331, dove si sono distinti soprattutto per il gran numero di avarie in esercizio).

Di queste difficoltà pratiche deve ben rendersi conto lo stesso Stern, dal momento che poco più di un anno più tardi escogita (e fa brevettare) uno schema d'avvolgimento per il rotore che consente la medesima variazione di velocità nel rapporto 6:8 (sempre mediante variazione del numero di poli da 8 a 6 e concomitante passaggio da trifase a bifase) ma richiede la commutazione di soli nove punti del circuito: quindi esso sarebbe applicabile al rotore senza le difficoltà sopra accennate. A questo punto — siamo alla fine del 1908 — l'E.330 potrebbe essere costruita, almeno in teoria.



Schema dei collegamenti dei due motori alle quattro velocità (sistema Stern-Milch).

(I = interruttore principale; M₁, M₂ = motori; R = reostato; S = autotrasformatore Scott).



Nello stesso anno 1907 in cui Manu Stern depositava a Berlino il brevetto che avrebbe fatto nascere l'E.330, i costruttori svizzeri ponevano in servizio sulla linea del Sempione la locomotiva FFS 366: era la prima locomotiva trifase a quattro velocità ma sempre con notevole spreco di materiale, poichè a ciascuna velocità gli avvolgimenti dei due motori potevano essere sfruttati soltanto a metà.

La fotografia mostra la locomotiva 366 sulla linea del Sempione nel 1929, poco prima della messa fuori servizio (foto B. Bonazzelli)

Il merito dell'ultimo tocco è di Maurice Milch, di Budapest, il quale, basandosi sul primo brevetto di Stern, nel 1910 concepisce per l'avvolgimento di rotore un nuovo schema, di grande semplicità ed eleganza formale, che risolve definitivamente il problema per la nostra locomotiva. Lo schema del Milch, oltre ad essere realizzabile praticamente con le tecnologie del suo tempo, ha anche il vantaggio di ridurre a solo sette il numero dei punti di commutazione, quindi è sufficiente dotare ogni motore di un collettore a sette anelli.

Gli statori dei motori delle locomotive E.330 verranno costruiti dunque conformemente al primo brevetto di Stern, i rotori conformemente al brevetto di Milch.

Quanto allo schema Milch, basterà qui ricordare

sommariamente che esso consiste in una suddivisione dell'avvolgimento in 12 parti disposte in modo tale che, assumendo come capi tre determinati punti, il circuito forma un sistema *trifase a 8 poli* (costituito da quattro stelle trifasi in parallelo); assumendo invece come capi altri quattro determinati punti, il circuito forma un sistema *tetrafase a 6 poli* (costituito da tre stelle tetrafasi in parallelo).

Il fatto che il rotore a 6 poli sia tetrafase, mentre lo statore è bifase, non impedisce di ottenere le quattro velocità previste, poichè è ugualmente possibile effettuare la cascata collegando i quattro capi della stella tetrafase del primo motore ai quattro capi dell'avvolgimento di statore dell'altro motore, dato che il sistema Stern a 6 poli è bifase *aperto*, cioè costituito in pratica da due avvolgimenti monofasi indipendenti, sfasati di un quarto di periodo come i rami del tetrafase.

A scanso di equivoci bisogna rilevare che inizialmente, forse a causa di incertezze di terminologia nella teoria dei sistemi polifasi, il sistema Milch a 6 poli è stato impropriamente chiamato "bifase", anzichè tetrafase, e quasi tutte le pubblicazioni successive hanno ripreso questa inesatta definizione. Ad alimentare tale inesattezza ha contribuito forse anche il fatto che le applicazioni di sistemi tetrafasi alle macchine elettriche, in generale, sono sempre state rarissime: i motori di trazione dell'E.330 costituiscono probabilmente il primo caso di applicazione di un sistema tetrafase a una

grande macchina elettrica in tutta la storia dell'elettrotecnica.

Il sistema Stern-Milch costituisce il fondamento dell'E.330: ora vediamo in quali forme costruttive lo schema teorico si sia concretato in una vera locomotiva.

Realizzazione

In linea di principio, nel 1910 l'E.330 era fatta. Ma in ogni tempo sono stati numerosi i progetti che, per quanto ineccepibili sul piano teorico, non hanno potuto arrivare a una realizzazione concreta per l'impossibilità di superare gli ostacoli posti dalle necessità pratiche.

Nel 1910 la costruzione di una locomotiva elettrica ad alta tensione era impresa che poche industrie in Europa potevano affrontare, anche per le difficoltà derivanti dalla limitata disponibilità di materiali isolanti adatti. Un anziano ingegnere dell'epoca, legato al mondo della trazione a vapore, osservava con bonaria ironia che le locomotive elettriche erano macchine «... infarcite di carta e di stracci!» e in un certo senso aveva ragione. Proprio allora incominciava a diffondersi il primo isolante sintetico, preparato per la prima volta nel 1906 in America dal chimico belga Leo Baekeland e brevettato due anni più tardi col nome di Bakelite, che si può considerare il capostipite delle materie plastiche moderne; ma nelle grandi macchine elettriche gli isolanti più usati restavano quelli tradizionali, cioè porcellana, legno, carta, tela, mica, bitu-

me... Con questi materiali bisognava costruire la nostra E.330!

Le difficoltà costruttive per una locomotiva di grande potenza come l'E.330 erano accresciute dal fatto che le apparecchiature elettriche, anche quelle ad alta tensione (3.000 volt nominali), erano vincolate da limiti di peso e spazio e dovevano sopportare le sollecitazioni dinamiche indotte dalla marcia della locomotiva.

Sofferamoci per esempio su un combinatore,

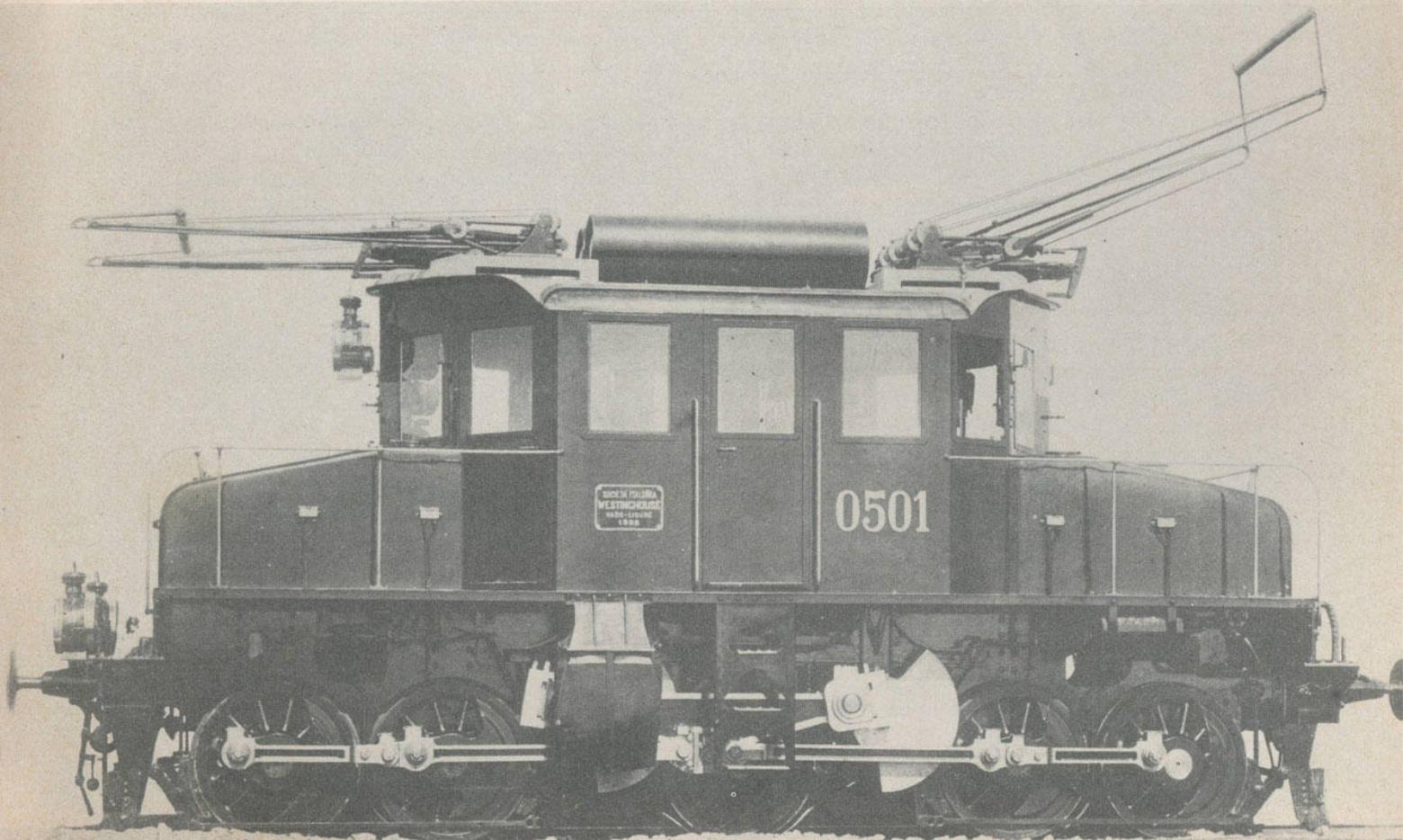
Le prime locomotive trifasi a due velocità con piena utilizzazione dei motori sono state costruite in Svizzera per la linea del Sempione nel 1906 (FFS 364 e 365), tuttavia esse avevano lo svantaggio di dover funzionare con potenza effettiva sensibilmente ridotta alla velocità più alta.

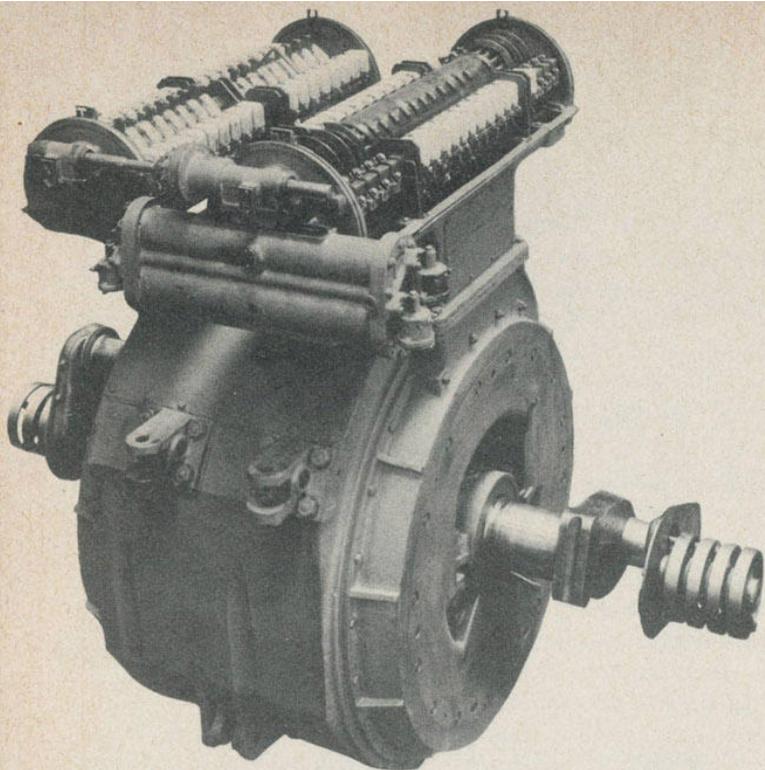
Lo stesso risultato di due velocità con completo sfruttamento dei motori, ma con funzionamento a piena potenza alla velocità più alta, è stato ottenuto nel 1908 dalle locomotive E.550, le quali due anni più tardi sulla linea dei Giovi dettero un'eccezionale dimostrazione di forza ed efficienza, oscurando le locomotive a vapore e aprendo la strada all'elettrificazione estensiva delle ferrovie.

La locomotiva E.550.001 è qui raffigurata allo stato d'origine, con la classificazione iniziale 0501 rimasta in vigore fino al 1914.

Le tecnologie costruttive dell'E.550 e diverse sue apparecchiature sono state riprese pressoché integralmente per realizzare l'E.330.

(foto FS)





Motore posteriore per locomotiva E.330. All'estremità destra dell'albero si vedono quattro anelli collettori, all'estremità sinistra gli altri tre, da cui si derivavano le correnti di rotore (tetrafasi e trifasi, sistema Milch)

Direttamente sopra il motore sono fissati due combinatori (scoperchiati nella fotografia per mostrare i numerosi contatti), che effettuava le commutazioni occorrenti per cambiare velocità; in primo piano il cavallino ad aria compressa per l'azionamento dei combinatori stessi. (foto TIBB)

cioè su quell'apparecchio che nelle locomotive trifasi aveva il compito di variare la disposizione del circuito di trazione, come occorre per realizzare praticamente la variazione di velocità dei motori. Un apparecchio abbastanza semplice: un lungo cilindro, fatto ruotare da un dispositivo pneumatico (il cosiddetto "cavallino"), che con varie serie di contatti elettrici fissi e mobili effettuava la commutazione desiderata, secondo che assumesse l'una o l'altra posizione prefissata. Ad evitare complicazioni, appositi dispositivi garantivano che il combinatore funzionasse sempre a vuoto, cioè mai sotto tensione: quando esso era sotto carico, il cavallino non poteva più essere azionato e il combinatore stesso restava bloccato da un fermo meccanico. Dunque, tutto bene. Però, nei tre combinatori dell'E.330 i contatti in totale erano 103 e, sotto carico, la perdita accidentale del contatto, anche per brevi istanti, di uno solo di essi avrebbe potuto innescare un arco elettrico sufficiente a danneggiarlo e mettere fuori uso la locomotiva; e la situazione era aggravata dalle larghe tolleranze meccaniche in uso in ferrovia, dai giochi e dalle imprecisioni di posizionamento che ne derivavano, dalle continue sollecitazioni dinamiche generate dalla marcia della locomotiva (che non possedeva certo le sospensioni di una moderna carrozza TEE), dalle vibrazioni trasmesse dai motori ...

Se consideriamo tutto ciò, allora vediamo come anche in un apparecchio apparentemente semplice potesse celarsi il principio dell'insuccesso per l'intera locomotiva, qualora la sua realizzazione non fosse stata sorretta da un'adeguata esperienza costruttiva.

Al tempo di Stern e Milch qualche grande industria elettrotecnica che avesse esperienza sufficiente c'era. Una di queste era qui in Italia: l'officina di Vado Ligure della Società Italiana Westinghouse,

la prima officina al mondo creata espressamente per la costruzione di locomotive elettriche. Le maestranze erano italiane, ma le "teste" erano straniere, prevalentemente ungheresi: in posizione preminente c'era l'ing. Kálmán Kandó, che aveva già al suo attivo numerose realizzazioni nel campo della trazione trifase fra cui le indimenticabili E.550, locomotive che hanno segnato una tappa fondamentale nella storia della trazione elettrica mondiale, col loro brillante servizio sulla vecchia linea dei Giovi. In Italia c'erano già le Ferrovie dello Stato che, sotto la lungimirante direzione dell'ing. Riccardo Bianchi, stavano sviluppando la trazione elettrica e avevano puntato sul sistema trifase. Ai Giovi le E.550 avevano ottenuto un successo clamoroso, essendosi dimostrate nettamente superiori alle locomotive a vapore più potenti; era ancora da dimostrare, però, che una locomotiva elettrica avrebbe potuto marcare una simile superiorità anche nei servizi veloci sulle grandi linee di pianura, dove le vaporiere dominavano incontrastate. Lo schema di Stern e Milch, che unito alle conoscenze e all'esperienza della Westinghouse avrebbe consentito di realizzare una locomotiva trifase con velocità paragonabile alle migliori locomotive a vapore per treni diretti, offriva l'occasione per "lanciare" il trifase anche in pianura.

Gli accordi tra FS e Italiana Westinghouse vennero stipulati nell'agosto 1912: essi contemplavano la costruzione in otto esemplari (poi portati a sedici) di una grande locomotiva trifase ad alta velocità fondata sul sistema Stern-Milch, che sarebbe stata appunto la nostra E.330: e "grande" doveva esserlo davvero poichè, come vedremo meglio fra breve, la FS per accettarla richiedevano che all'atto pratico essa dimostrasse di poter sviluppare una potenza effettiva all'incirca *doppia* delle migliori locomotive a vapore del tempo!

Nascita dell'E.330

Prima locomotiva trifase a quattro velocità con completa utilizzazione dei motori, l'E.330 rappresenta un momento fondamentale dello sviluppo del sistema trifase. In questo articolo le principali tappe che hanno condotto dal primo brevetto del 1907 alla costruzione e all'immissione in servizio di sedici locomotive nel 1914.

Seconda parte: Programma - Costruzione - Meccanica

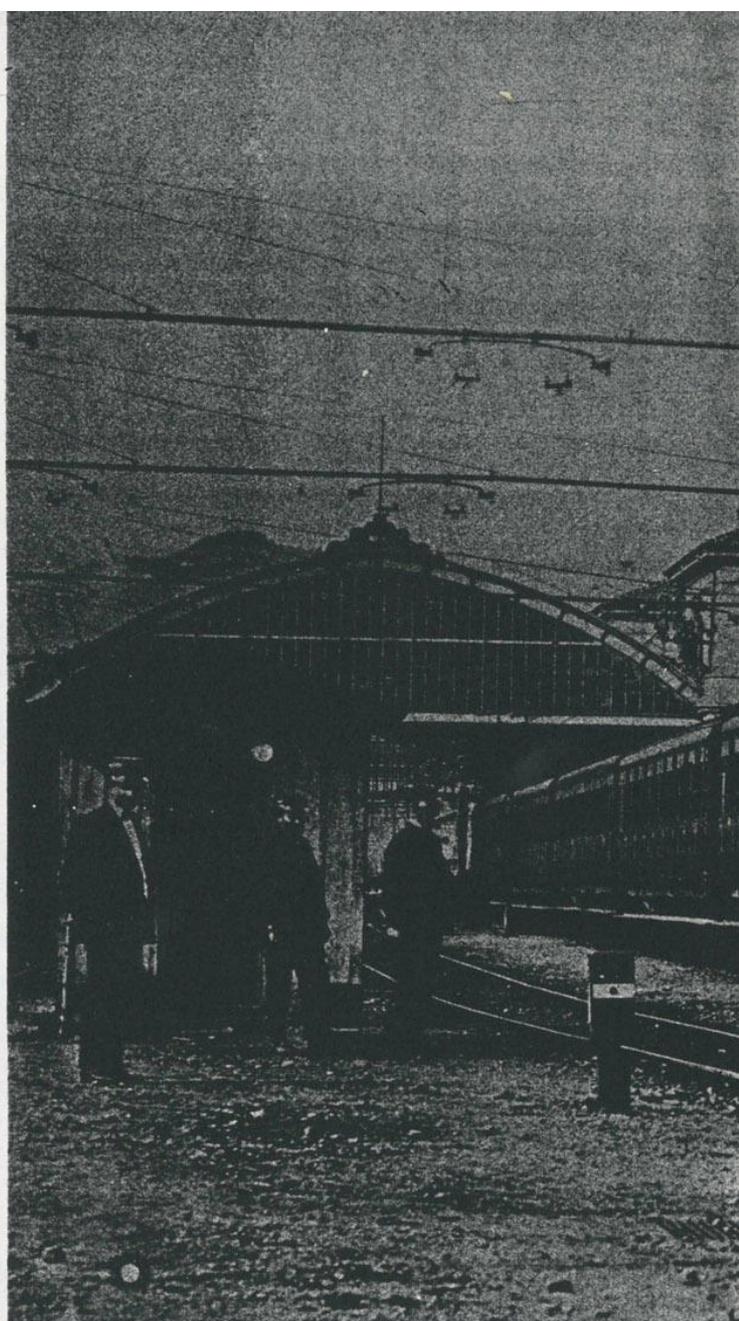
Erminio Mascherpa

Programma

Le prove cui la locomotiva sarebbe stata sottoposta una volta costruita, furono stabilite dalle FS in accordo con i tecnici della Westinghouse. Ecco alcune:

- a) non meno di 20 avviamenti consecutivi da zero a 37 km/h, a tre minuti di distanza l'uno dall'altro, trainando un treno merci avente una massa di 350 tonnellate, composto da carri carichi a due assi con cuscinetti a strisciamento lubrificati a olio di tipo normale FS, su pendenze non superiori al 3 per mille;
- b) avviamento da zero a 75 km/h di un treno merci da 350 t come sopra ma su pendenze fino al 12 per mille, con accelerazione media non inferiore a 0,04 m/s² anche in presenza di un abbassamento della tensione elettrica di linea del 10 per cento;
- c) avviamento da zero a 100 km/h in un tempo massimo di 135 secondi, trainando un treno con massa di 200 tonnellate su pendenze non superiori al 3,5 per mille;
- d) avviamento con forza di trazione al limite dell'aderenza fra le velocità di zero e 75 chilometri all'ora.

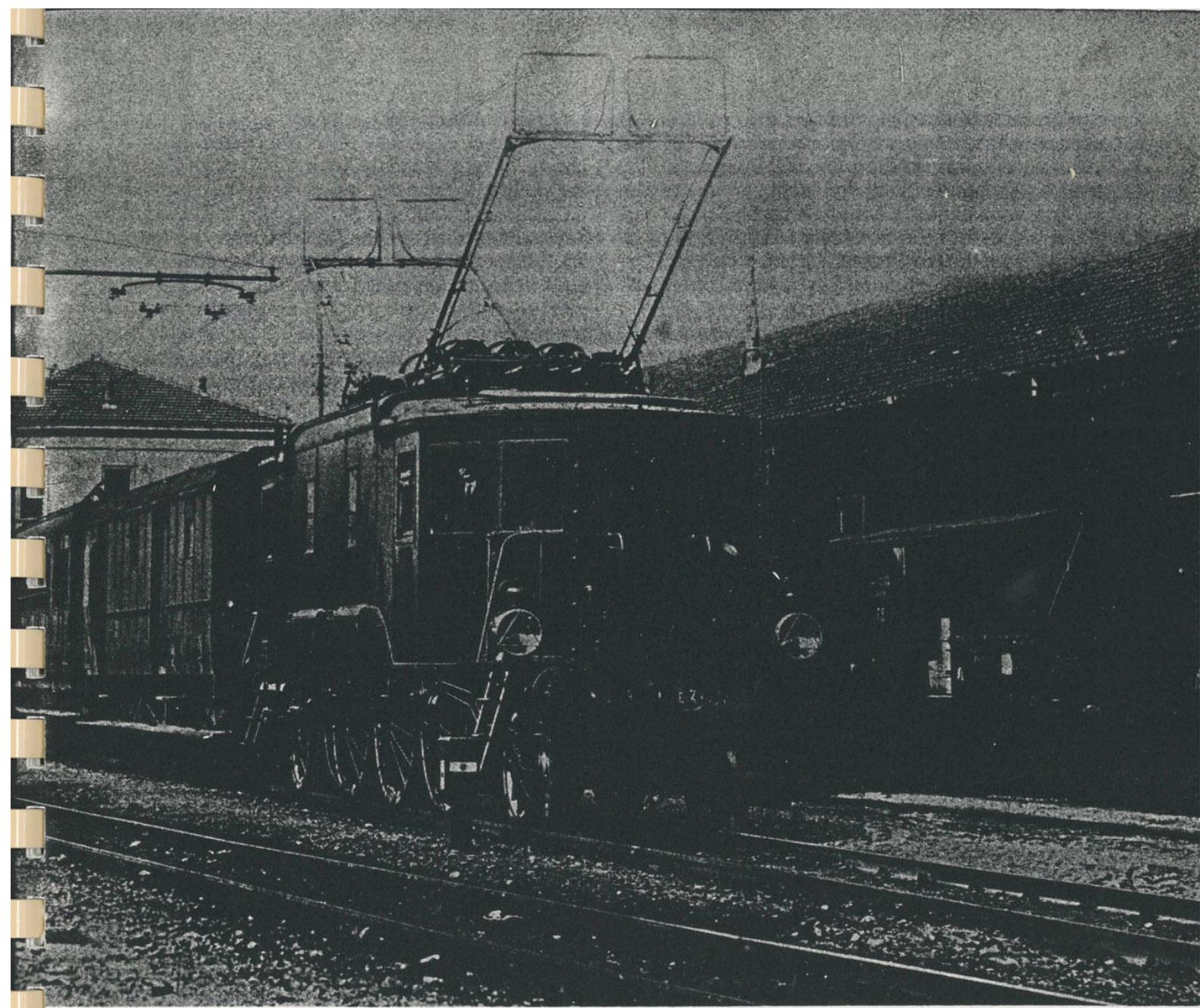
Oltre a queste prove, che potremmo definire tecnologiche in quanto intese a verificare la locomotiva in condizioni d'esercizio reali, ne erano previste altre di tipo più strettamente tecnico, riguardanti la forza di trazione, il rendimento e il fattore di potenza della locomotiva alle sue quattro velocità normali a *regime orario*, cioè in condizioni tali da



poter essere mantenute ininterrottamente per la durata di un'ora senza eccessivo riscaldamento né dei motori né di alcun'altra parte della locomotiva. Esse si possono riassumere nello specchio seguente (forza e potenza sono valutate ai cerchioni):

velocità (km/h)	forza (kN) (kg)		potenza (kW) (CV)		rendimento dei motori	fattore di potenza
37	88	9000	920	1250	0,87	0,65
50	88	9000	1230	1670	0,87	0,65
75	93	9500	1940	2640	0,935	0,85
100	59	6000	1630	2220	0,935	0,85

Alle due velocità più alte, che per questo tipo di locomotiva si possono considerare "normali", l'E.330 ha dimostrato di poter sviluppare la forza e la potenza previste (confronta la tabella A); nessuna locomotiva a vapore del tempo poteva fare altrettanto, nemmeno entro limiti di carico assiale



più ampi delle 15 tonnellate concesse all'E.330.

Lo specchio seguente mostra alcuni dati di confronto fra la 685, che era la migliore locomotiva a vapore per treni diretti delle FS, e l'E.330 (dati riferiti alla velocità di 75 km/h e al regime continuativo):

locomotiva	massa (t)	forza		potenza		potenza specifica (W/kg)
		(kN)	(kg)	(kW)	(CV)	
685	124	44	4500	920	1250	7,5
E.330	73	84	8600	1760	2400	24

Risulta in modo evidente la forte superiorità dell'E.330. Il rapporto potenza/massa (potenza specifica) è un parametro molto espressivo poiché rappresenta in che misura si è riusciti a sfruttare i materiali per ottenere potenza utile, che è il fine ultimo di ogni macchina: con l'E.330 tale rapporto risulta più che triplicato!

Locomotiva E.330.001 in stazione di Savona anno forse 1916; queste locomotive riuscivano ad avviare un treno di 200 tonnellate da zero a 100 km/h in meno di 135 secondi (foto FS)

L'unico punto a favore della 685 stava nella velocità massima un po' più alta (110 km/h, contro i 100 dell'E.330): ma era un vantaggio che in pratica si riduceva a ben poco, dato che alle velocità più alte la potenza effettiva di una locomotiva a vapore diminuisce sensibilmente a causa dei fenomeni di laminazione del vapore, cosicché i carichi trainabili con continuità a tali velocità sono relativamente bassi. L'E.330 d'altra parte aveva dalla sua, a pari carico, una maggiore accelerazione in avviamento e in "ripresa" dopo i rallentamenti. In definitiva l'E.330 risultava superiore anche quanto a velocità, poiché in media pareggiava il conto, o quasi, con la 685 quando i treni erano leggeri e la superava di gran lunga quando i treni erano più pesanti o su tratti acclivi.

Tornando alle prove, naturalmente erano previste anche prove di isolamento elettrico, le quali consistevano nel sottoporre ciascun apparecchio elettrico per un tempo di due minuti ad una tensione quintupla di quella nominale prima del montaggio e tripla di quella nominale a montaggio effettuato: in particolare le apparecchiature ad alta tensione (3.000 V nominali) venivano provate a 15.000 volt.

Nella costruzione dell'E.330 gli ingegneri della Westinghouse hanno preferito evitare di tentare vie nuove e hanno ripetuto ovunque fosse possibile gli apparecchi già ben collaudati sulle E.550. Potremmo dire che, a parte l'introduzione di un rodiggio a ruote grandi, l'E.330 dal lato costruttivo non è altro che un'E.550 un po' più grossa e... con due "marce" in più!

Costruzione

L'equipaggiamento elettrico dell'E.330, eccettuata la parte inerente al sistema Stern-Milch, ripete l'E.550. La corrente di trazione, dopo aver attraversato gli apparecchi di protezione, si presenta ai combinatori, analoghi costruttivamente all'E.550, a parte il maggior numero di contatti. In un primo progetto il numero complessivo di contatti era di 116; nel progetto definitivo una più accurata analisi delle combinazioni ha permesso di ridurre tale numero a 103. Alla seconda e quarta velocità i combinatori provvedono anche a derivare l'alimentazione da un autotrasformatore Scott, il quale fornisce in uscita una tensione bifase di ampiezza maggiore del 10% di quella trifase di linea, come occorre per mantenere invariata, nei motori funzionanti a 6 poli, l'induzione magnetica nel traferro.

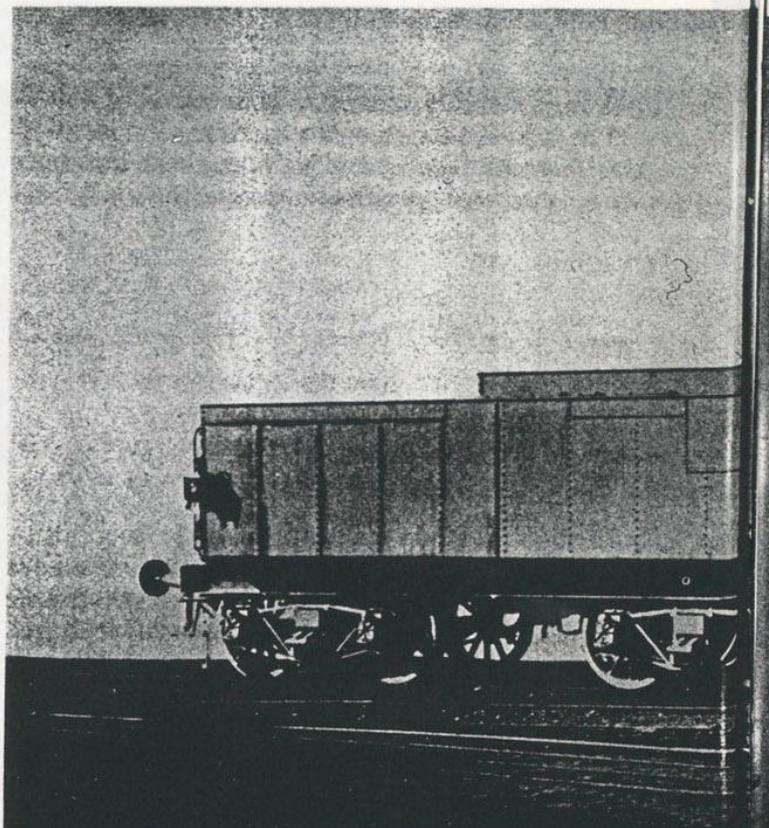
I due motori di trazione, uguali fra loro, sono costruiti con le stesse tecnologie dell'E.550. Hanno dimensioni maggiori, data la maggiore potenza che sono chiamati a sviluppare: ora il loro diametro esterno raggiunge l'altezza di un uomo (oltre un metro e sessanta) e impegna in misura considerevole lo spazio disponibile nella locomotiva. All'ingombro dei motori si aggiunge quello dei combinatori e del ventilatore col rispettivo condotto di mandata con presa d'aria sul fianco destro della locomotiva, cosicché per il passaggio da una cabina all'altra resta a disposizione del personale di macchina solo un disagiata corridoio sulla sinistra, mentre sulla destra il passaggio è impossibile. È probabile che sia nato con l'E.330 il soprannome di «sommersibili», appioppato dai ferrovieri alle locomotive il cui passaggio interno risultava difficoltoso causa l'ingombro delle apparecchiature.

I sette anelli collettori di ciascun motore sono disposti, quattro sul lato destro e tre sul lato sinistro, esternamente alle manovelle motrici come sull'E.550. Questa disposizione ha il vantaggio di

una facile accessibilità per ispezioni e manutenzione ma la complicazione costruttiva è sensibile, dato che i perni di manovella, le manovelle e gli stessi alberi dei motori devono essere forati per realizzare un cunicolo a collo d'oca che consenta il passaggio dei cavi a media tensione fra l'indotto e i collettori. Inoltre i collettori così all'esterno sono chiusi in custodie che non sempre offrono una protezione adeguata contro le infiltrazioni di pioggia o neve.

Il reostato è anch'esso analogo all'E.550, salvo l'aggiunta di una pompa di circolazione della soluzione di soda per migliorarne il raffreddamento; gli elettrodi sono disposti in modo da ricalcare lo schema Milch cosicché, dato il perfetto coniugio con gli indotti dei motori, il passaggio da trifase a tetrafase avviene spontaneamente, senza bisogno di alcuna commutazione. Come nell'E.550 il reostato è dotato di una testa di comando che consente la regolazione automatica della locomotiva, a potenza costante, durante il periodo dell'avviamento e delle transizioni, un dispositivo geniale che anticipa di decenni i principi dei controlli automatici moderni.

Nemmeno gli ausiliari presentano novità rispetto all'E.550, a parte il dimensionamento: essi vengono azionati da motori trifasi a bassa tensione (100-110 V) tramite due trasformatori della potenza complessiva di 24 kVA (rapporto di trasformazione 30:1). Il ventilatore dei motori di trazione, della potenza di circa 3,7 kW, è a due velocità, ottenute mediante variazione del numero di poli nel rapporto 2:1. I due compressori d'aria per il freno e per gli altri servizi sono di tipo nuovo, ciascuno a due



cilindri a V azionati da due motori trifasi, sempre a bassa tensione. Scopo del raddoppiamento degli ausiliari più importanti (compressori, ecc.), come in tutte le locomotive, è di garantire il servizio in caso di avaria di uno di essi.

Resta da parlare di un organo fondamentale: il trolley. Il buon funzionamento dell'organo di presa di corrente è di importanza vitale in qualunque locomotiva elettrica ma era particolarmente difficile nelle locomotive trifasi, che dipendevano da due conduttori aerei elettricamente distinti; grossolanamente si potrebbe dire che nelle locomotive trifasi il problema della captazione di corrente è raddoppiato. Se non ci fossero stati altri più gravi motivi a determinare l'eliminazione del sistema trifase, probabilmente sarebbe bastato da solo il problema della captazione di corrente alle velocità più alte a impedirne la continuazione.

Il trolley svizzero Brown Boveri a strisciamento, sperimentato nel 1906 sulla linea del Sempione e successivamente sottoposto a numerosi perfezionamenti, ha costituito l'equipaggiamento normale per la maggior parte delle locomotive trifasi italiane, comprese le E.330; tuttavia inizialmente la sua adozione ha comportato qualche difficoltà di natura, diciamo, politica.

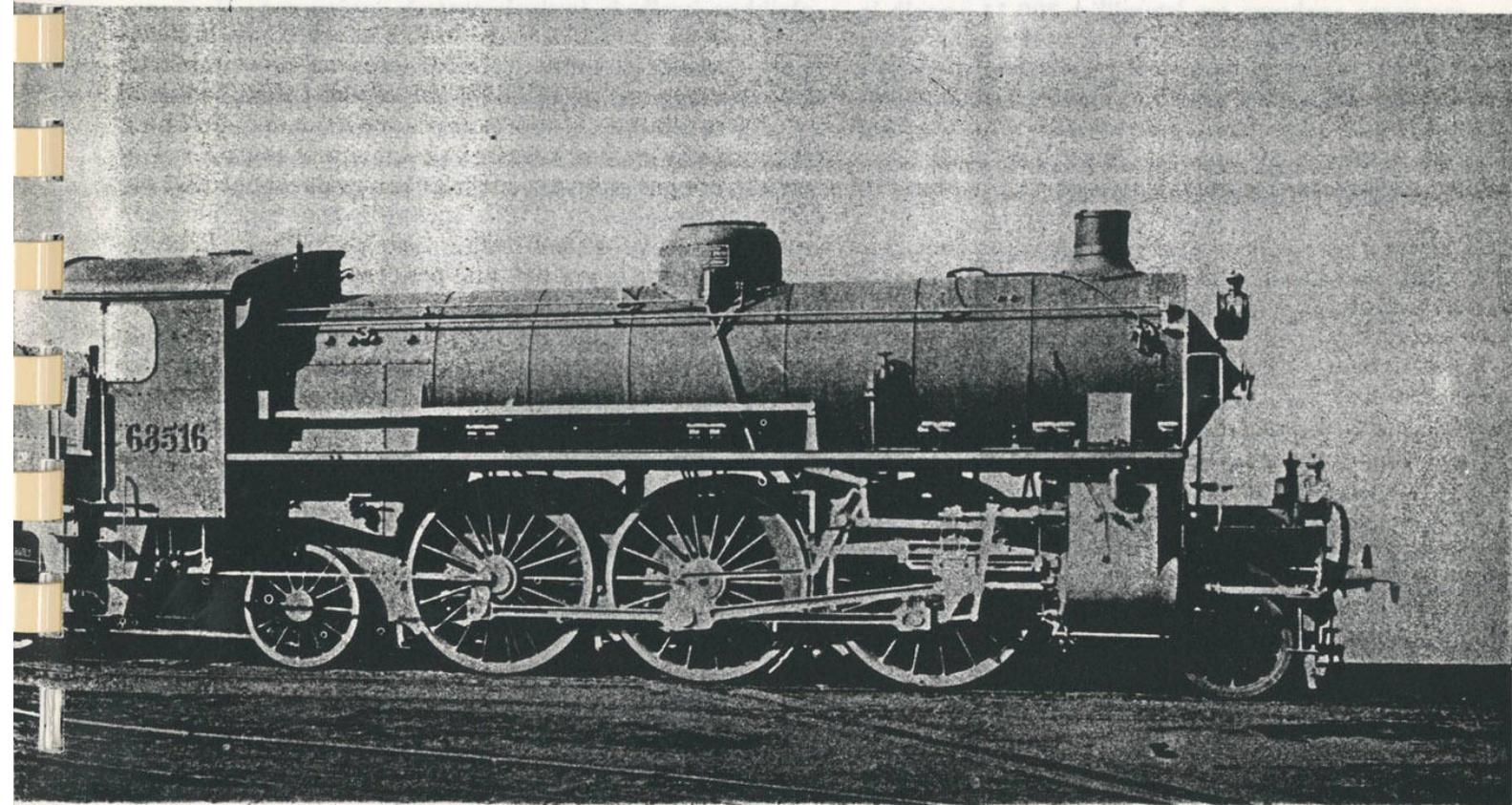
Al tempo di cui parliamo la trazione elettrica era poco più che ai primordi. Quindi aveva prospettive

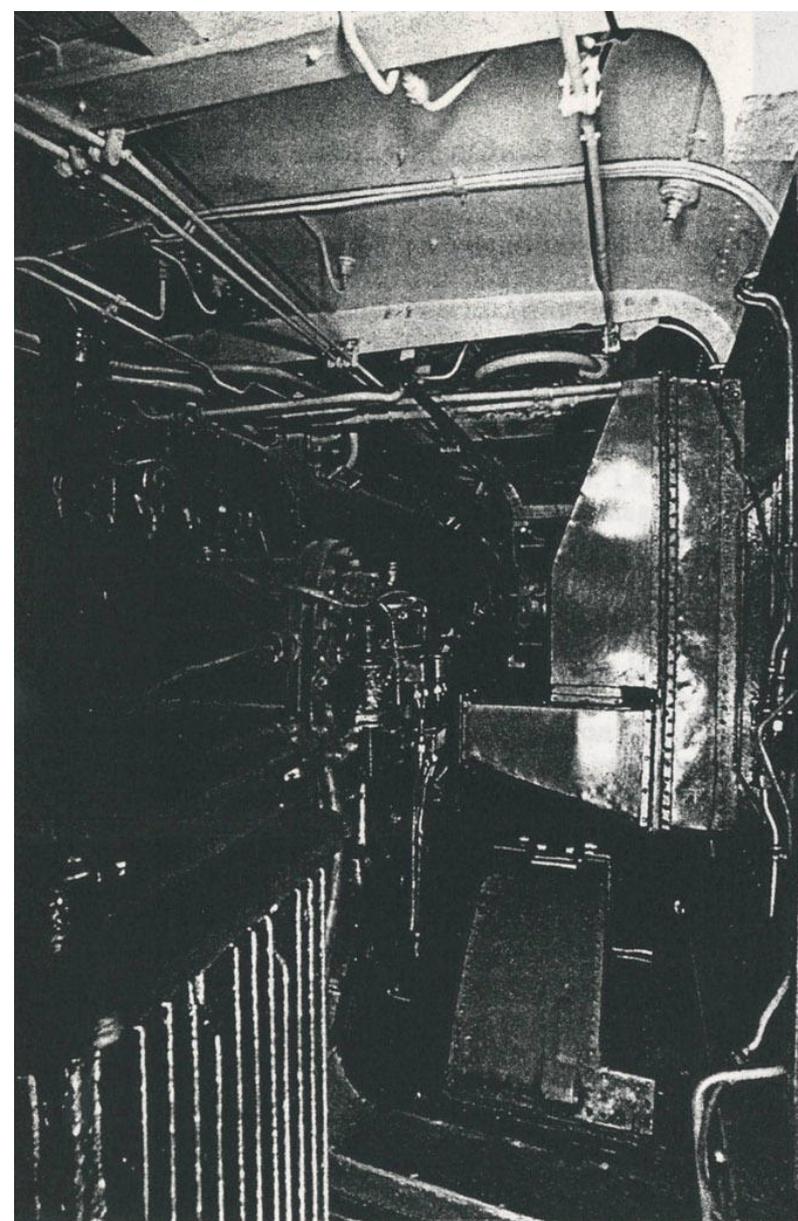
Il confronto con la 685, migliore locomotiva a vapore italiana per treni diretti, era fondamentale: l'E.330 si è dimostrata nettamente superiore da quasi tutti i punti di vista; vediamo la 685.016 in una fotografia di fabbrica del 1912 (foto Breda)

di sviluppo enormi: nel mondo c'erano decine di migliaia di chilometri di linee da elettrificare, decine di migliaia di locomotive elettriche da costruire, qualora l'uno o l'altro sistema di trazione elettrica fosse riuscito ad affermarsi. Di fronte a un affare di portata economica così rilevante la concorrenza fra le case costruttrici era esasperata: chi fosse riuscito a sviluppare un componente di importanza decisiva, avrebbe conosciuto un successo economico di vaste proporzioni. Perciò ciascun nuovo componente, spesso prima ancora di essere sperimentato, veniva brevettato, generalmente con più brevetti.

Attorno a ogni locomotiva trifase c'erano grappoli di brevetti. I brevetti che proteggevano l'E.330 si contano a decine. Brevettati erano i motori, i loro combinatori, le loro sospensioni; brevettato il reostato e il suo sistema di controllo automatico; brevettati gli interruttori ad alta tensione; brevettate perfino le bielle di trasmissione... Naturalmente il trolley Brown Boveri era brevettatissimo: lo proteggevano non meno di sette brevetti. Il passaggio obbligato attraverso la casa svizzera per ottenere il trolley sarebbe stato estremamente oneroso per gli altri costruttori, quindi è naturale che si siano tentate delle alternative.

La risposta della Westinghouse non si era fatta attendere molto: nel 1908 avevano fatto la loro comparsa in Valtellina le prime locomotive E.550, dotate di un trolley originale, ovviamente brevettato, progettato dal solito ing. Kandó. Esso era destinato ad essere provato, fra l'altro, sul tratto Lecco — Calolziocorte, elettrificato sperimentalmente con un tipo particolare di sospensione presentato anch'esso dalla Westinghouse. Ma nè il trolley nè





*A sinistra:
nella parte destra della locomotiva
il passaggio era impossibile per la presenza
del ventilatore dei motori col relativo condotto
dell'aria, sulla destra nell'immagine;
sulla sinistra un combinatore del motore posteriore
col rispettivo cavallino;
a sinistra in basso, in primo piano, il reostato
(foto De Santis)*

*Pagina opposta, in alto:
banco di manovra del posto di guida posteriore:
la manovella piccola comandava l'inserzione
delle quattro velocità e il senso di marcia; la manovella
grande regolava il reostato (foto De Santis)*

*Pagina opposta in basso:
l'angusto corridoio fra una cabina e l'altra, intralciato
da cavi, tubi, ripari dei contrappesi
e altri apparecchi; si vedono
i due motori di trazione (in basso sulla sinistra),
i tre cofani contenenti i combinatori e, sullo sfondo,
il cassone alettato del reostato;
le vaschette rosse contenevano l'olio lubrificante
per i cuscinetti dei motori
(foto De Santis - tutte le immagini a colori in questo
articolo sono state prese
sulla locomotiva E.330.008, conservata
al Museo della Scienza e della Tecnica di Milano)*

la sospensione dettero risultati giudicati soddisfacenti dalle FS.

Alle FS piaceva il trolley Brown Boveri, presumibilmente con buoni motivi, ma non potevano certo pretendere che la Westinghouse andasse a chiedere i trolley al suo concorrente più temibile! Alle proposte delle FS la Westinghouse opponeva il suo trolley. Difatti un primo progetto dell'E.330 contemplava l'equipaggiamento con trolley Kandó. Anche in quest'occasione la direzione FS, guidata da Riccardo Bianchi, dette prova di sensibilità trovando una soluzione che, se non accontentava tutti, almeno non scontentava nessuno: la Westinghouse avrebbe fornito le sedici E.330 senza trolley; a questi avrebbero pensato le FS stesse acquistandoli direttamente dal Tecnomasio Italiano Brown Boveri di Milano, collegato naturalmente alla casa madre svizzera; infine la Westinghouse avrebbe provveduto al montaggio sulle locomotive. E così fu fatto.

Meccanica

Quanto era lunga un'E.330? I disegni d'insieme

ci dicono 11.008 millimetri ma conviene osservare come questo dato dev'essere interpretato. In matematica il numero 11.008 esprime una grandezza maggiore di 11.007 e minore di 11.009, essendo sottintesa un'approssimazione a meno di un'unità; nella tecnica invece l'approssimazione (tolleranza) di ogni misura viene prestabilita dal progettista caso per caso. In una locomotiva le tolleranze costruttive generalmente sono larghe: nell'E.330 la tolleranza era dell'uno per cento, in più o in meno, con un massimo di due millimetri. Quindi alla lunghezza nominale di 11.008 mm corrispondeva una lunghezza reale che variava da locomotiva a locomotiva fra un minimo di 11.006 e un massimo di 11.010 millimetri. Analoghe considerazioni valgono per le altre dimensioni dell'E.330.

Soltanto nella trasmissione erano imposte tolleranze più strette, non superiori a 0,5 mm, come è ovvio data la delicatezza e l'importanza di questa parte della locomotiva. In una locomotiva trifase le manovelle dei due motori sono rigidamente collegate fra loro in entrambi i lati attraverso le bielle, perciò l'insieme è iperstatico e bastano imprecisioni dimensionali anche piccole in uno dei compo-

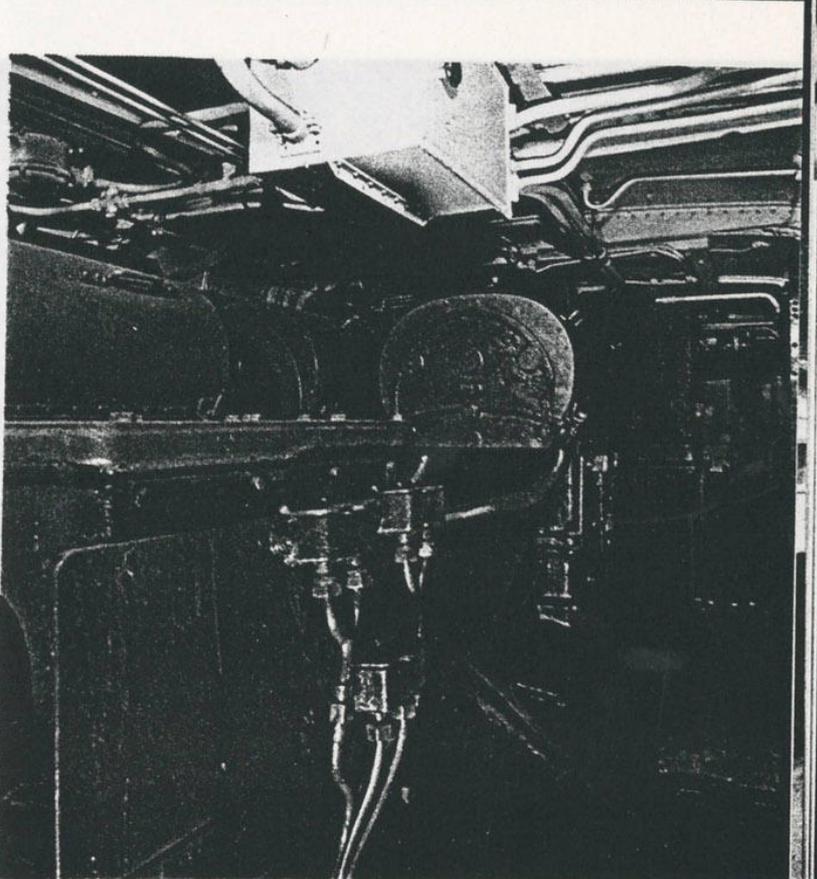
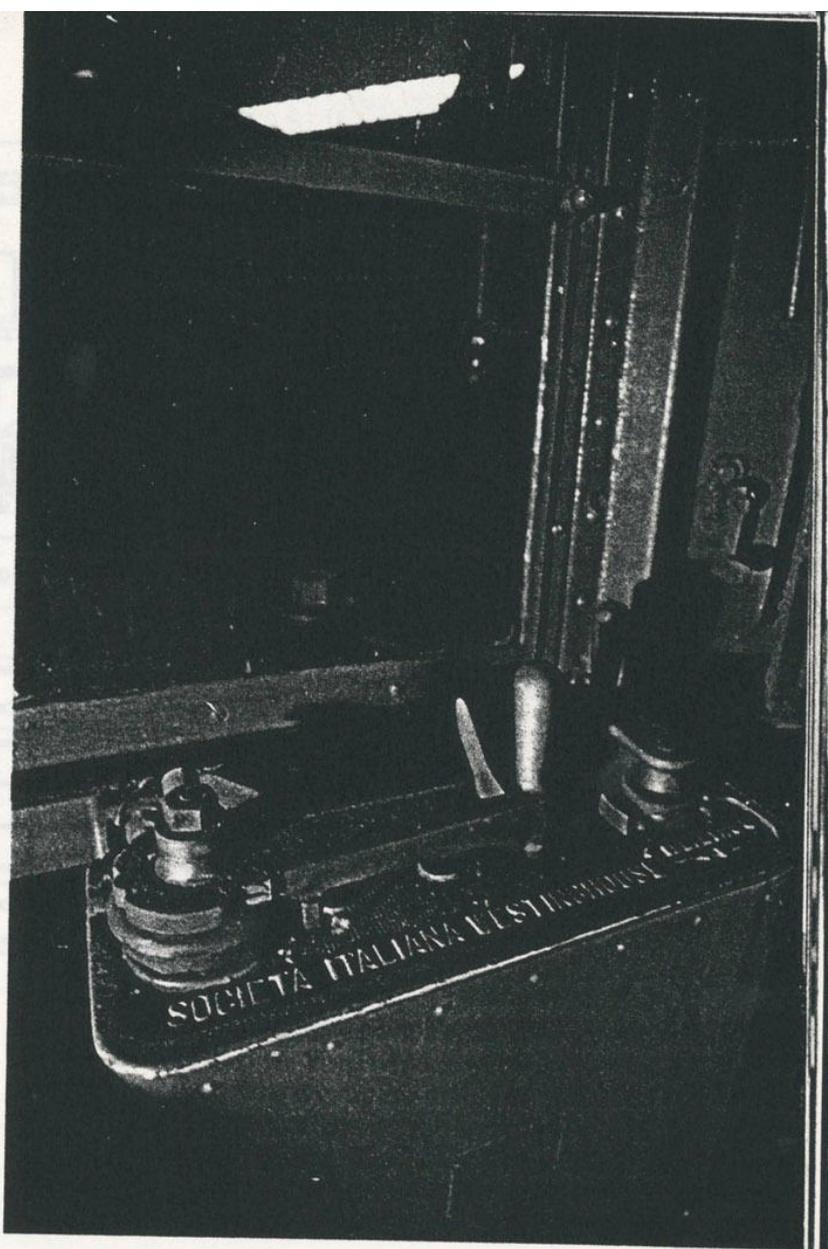
nenti per produrre sovraccarichi, causa di inconvenienti anche gravi. Per questa ragione la vita di parecchie locomotive trifasi è stata afflitta da noie alla trasmissione più o meno marcate.

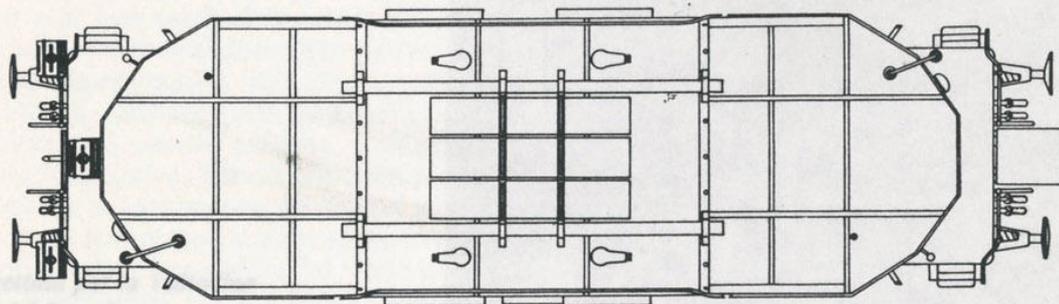
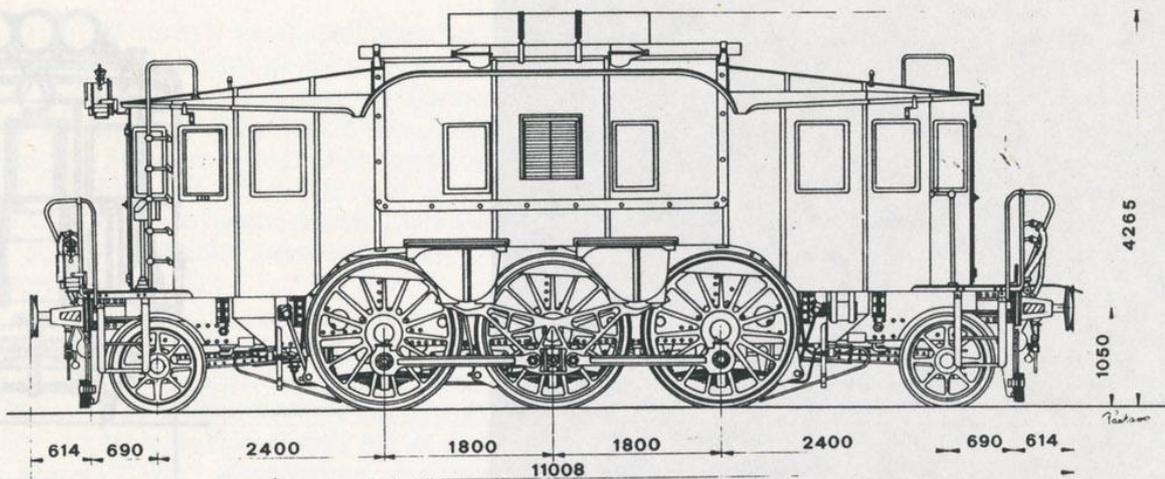
La trasmissione dell'E.330 ripeteva lo schema dell'E.550 e delle locomotive "valtelinesi", però con i motori situati molto più in alto (650 mm sopra il piano degli assi motori, contro i 315 mm dell'E.550 e i 235 mm delle "valtelinesi") per conseguire il triplice vantaggio di innalzare il baricentro, ridurre il passo e irrobustire il telaio. La contropartita di tale vantaggio stava nelle maggiori forze cui era assoggettata la trasmissione, circa il 25% in più dell'E.550, con reazioni verticali più che raddoppiate a pari forze trasmesse.

Dato l'innalzamento della posizione dei motori, le bielle triangolari dovevano abbandonare la forma a giogo scozzese (*scotch yoke*) delle locomotive precedenti per assumere una forma a V con angolo fra gli assi di circa 108° ($1,89 \text{ rad}$); esse venivano ottenute da lavorazione di un lamierone d'acciaio da 65 mm di spessore (finito) ed erano traforate a scopo di alleggerimento. Preoccupavano non tanto il peso quanto le forze d'inerzia, anch'esse proporzionali alla massa: la velocità dei motori, che raggiungeva i 330 giri al minuto ($34,5 \text{ rad/s}$), a pari condizioni avrebbe aumentato le forze d'inerzia quasi dell'80% rispetto all'E.550, perciò conveniva alleggerire le bielle il più possibile. D'altra parte l'aumento del raggio di manovella da 250 a 300 mm, che serviva a ridurre le forze in gioco nella trasmissione (le quali peraltro restavano sensibilmente maggiori dell'E.550), aumentava a sua volta le forze d'inerzia. Per evitare che forze d'inerzia non equilibrate perturbassero la marcia della locomotiva, si equilibrarono mediante i contrappesi, per la prima volta in una locomotiva trifase, anche le coppie d'inerzia generate dal movimento delle bielle a V a causa della posizione bassa del loro baricentro rispetto alle manovelle motrici. Di conseguenza i contrappesi dei motori risultavano differenti fra loro, sia per la massa, sia per la posizione; più precisamente il contrappeso alla sinistra di chi guardava il fianco della locomotiva era più grosso dell'altro e più angolato rispetto all'asse della manovella.

In occasione delle riparazioni cicliche è capitato che gli uomini d'officina, abituati all'intercambiabilità dei contrappesi di altre locomotive trifasi, abbiano rimontato inavvertitamente scambiati quelli dell'E.330, col risultato che le forze che si volevano equilibrare venivano invece esaltate. Incidenti di questo genere non devono essere stati rari, visto che più di una volta nel corso degli anni le FS hanno sentito il bisogno di richiamare l'attenzione delle officine sull'importanza di non scambiare i contrappesi di queste locomotive.

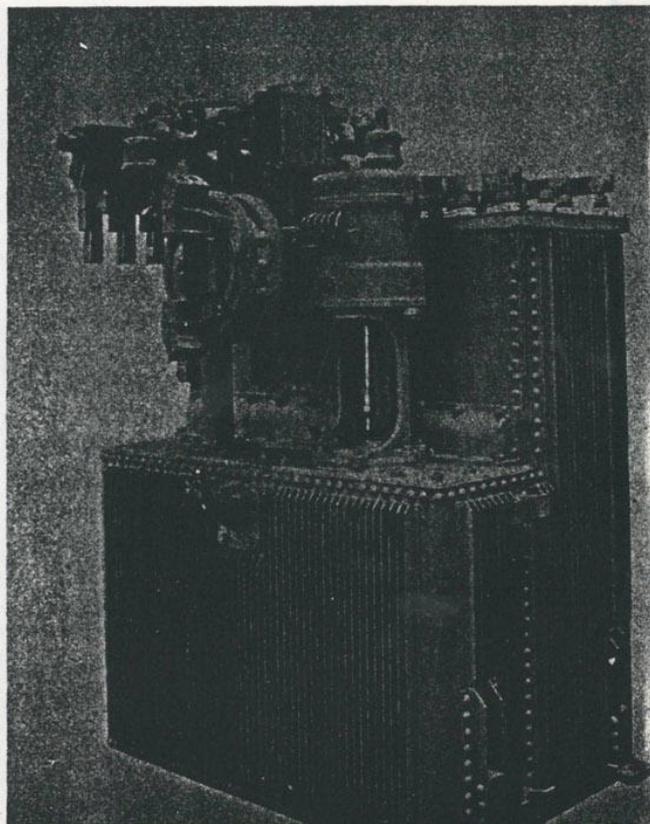
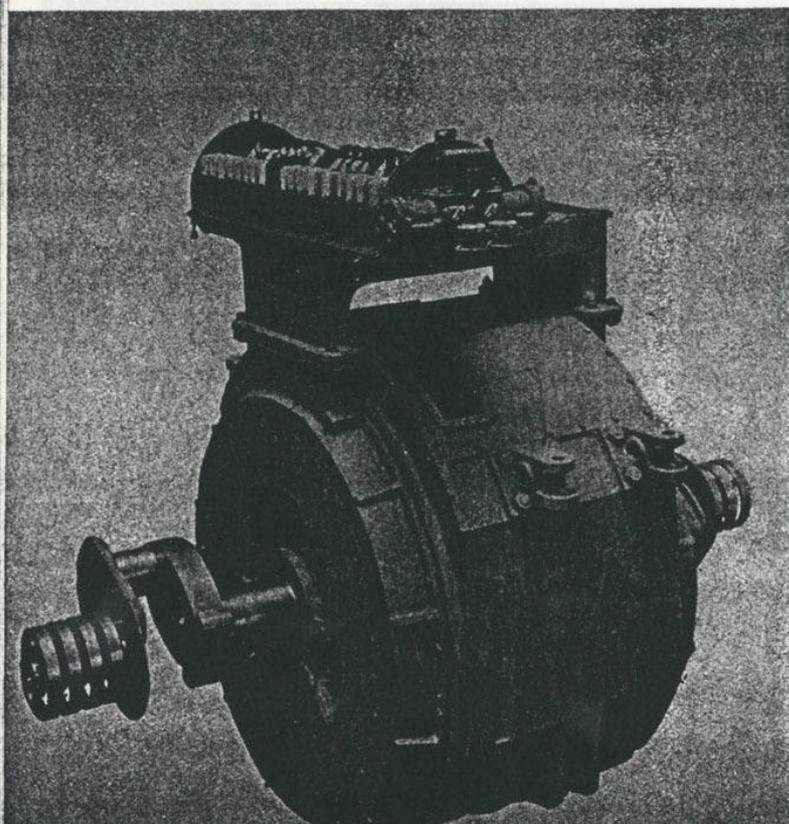
Come sempre le manovelle sui due lati della locomotiva erano sfasate fra loro di 90° ($1,57 \text{ rad}$); più precisamente quando su un lato le manovelle

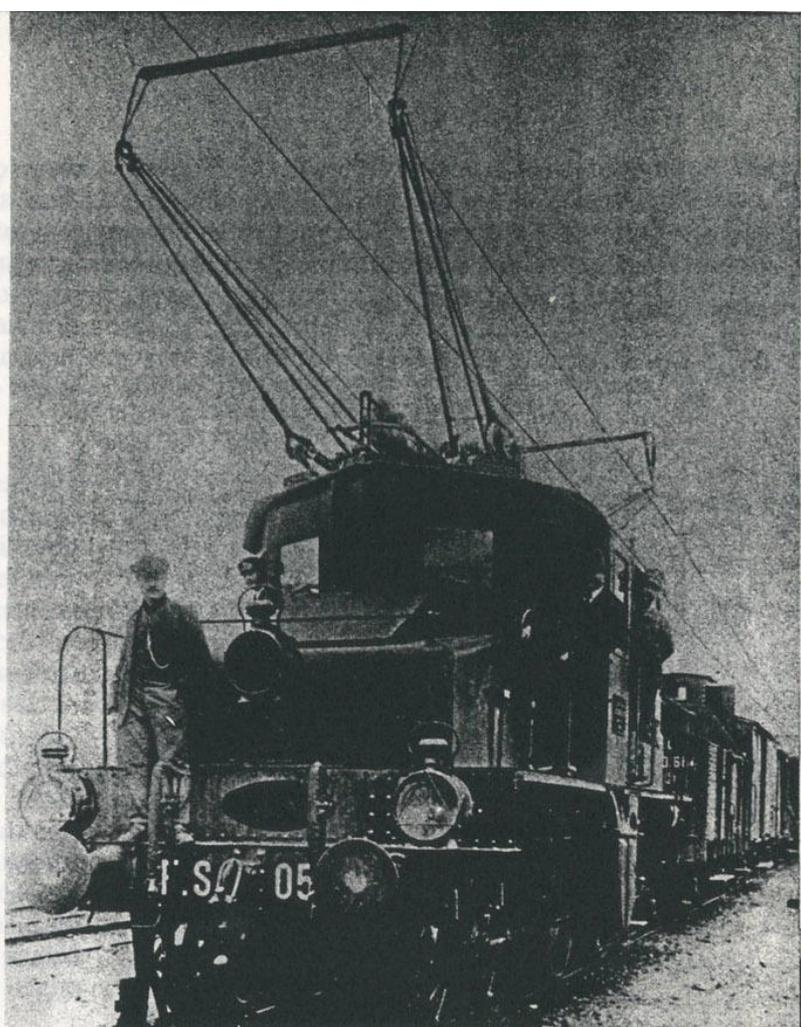
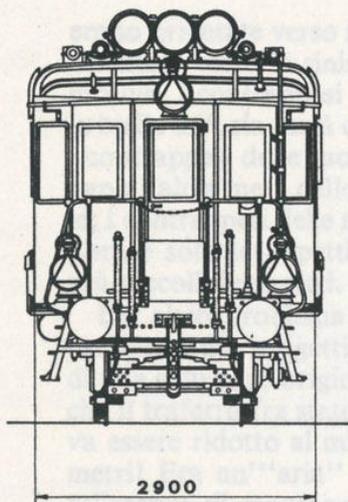




Motore anteriore col relativo combinatore; a sinistra si vedono i quattro anelli del collettore corrispondenti ai capi di un sistema tetrafase; i cavi di collegamento fra gli anelli e l'indotto passavano in un cunicolo a collo d'oca, ricavato internamente alla manovella con sensibile complicazione costruttiva (foto TIBB)

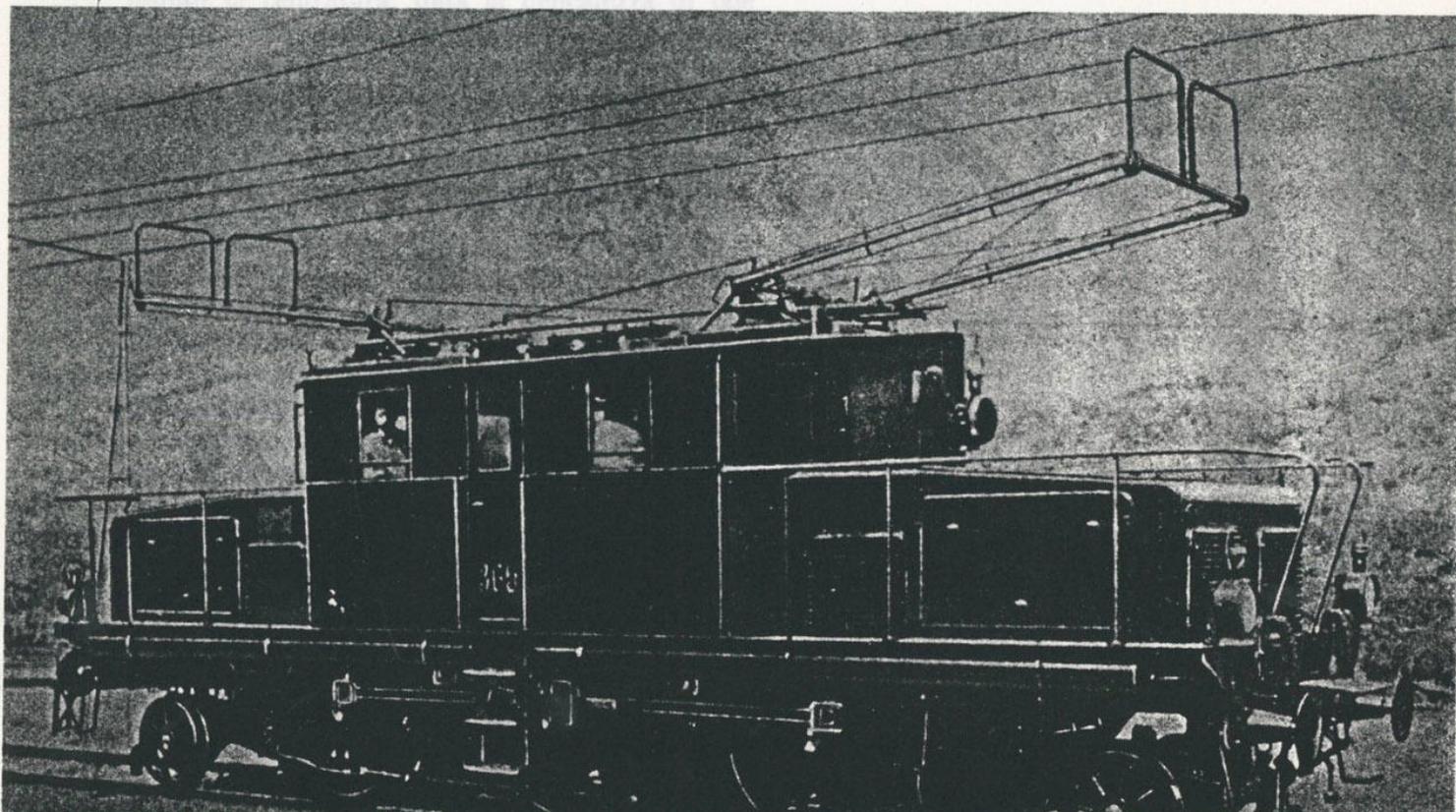
Il reostato a liquido (soluzione diluita di soda) col suo complesso di regolazione automatica; le alette del cassone servivano ad aumentare lo scambio termico con l'ambiente; il complesso di regolazione, progettato e brevettato da Kálmán Kandó, anticipava di decenni i principi dei controlli automatici moderni (foto TIBB)





Sotto:
 locomotiva 365 progettata per la Valtellina
 ma usata sulla linea del Sempione,
 attrezzata nel 1906 con il trolley Brown Boveri;
 questo tipo di trolley, successivamente perfezionato,
 è stato montato sulla maggior parte
 delle locomotive trifasi italiane, comprese le E.330;
 la locomotiva FFS 365 e la sua gemella 364,
 costruite in Svizzera dalla Brown Boveri,
 sono state le prime trifasi a due velocità
 con pieno sfruttamento dei motori (foto FS)

A destra:
 il trolley Kandó sulla locomotiva E.550.002,
 qui in Valtellina con la classificazione d'origine 0502
 probabilmente nel 1908:
 il trolley Kandó era stato previsto anche per le E.330

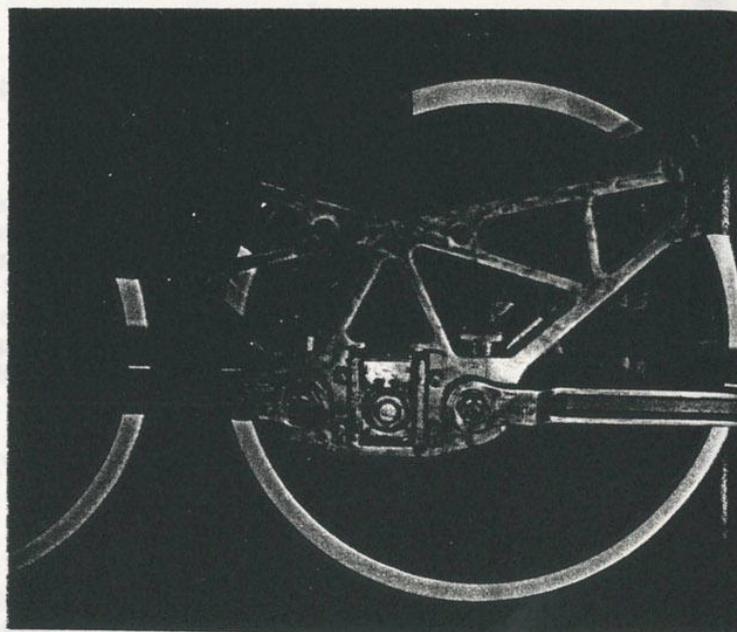


erano orientate verso il basso, sull'altro lato erano orientate verso la sinistra di chi guardava la locomotiva. I contrappesi dei motori equilibravano sia le bielle a V, sia metà delle bielle d'accoppiamento; i contrappesi delle ruote motrici estreme equilibravano l'altra metà delle bielle e le relative manovelle; i contrappesi delle ruote centrali dovevano equilibrare solo le rispettive manovelle, perciò erano più piccoli degli altri.

Un altro problema meccanico suscitava le apprensioni dei progettisti, inducendo all'ideazione di una soluzione originale. Per ragioni elettrotecniche il traferro fra statore e rotore nei motori doveva essere ridotto al minimo: non più di due millimetri! Era un'"aria" piccolissima, considerate le tolleranze di montaggio dell'ordine dei decimi di millimetro e le inevitabili deformazioni elastiche del telaio sotto l'azione di forze alternative sui cuscinetti che superavano i 400 kN (40.000 kg). Un'interferenza meccanica accidentale fra rotore e statore durante la marcia avrebbe causato danni ingenti alla locomotiva, perciò era della massima importanza che la sospensione dei motori garantisse la centratura fra rotore e statore anche in caso di sovraccarichi o di deformazioni del telaio della locomotiva. Il problema era aggravato dalle grandi dimensioni dei motori: la massa di ciascuno di essi era di oltre 14 tonnellate!

La soluzione scelta per l'E.330, brevettata, era alquanto complicata ma nell'esercizio pratico ha dimostrato di corrispondere bene allo scopo. Il rotore era sostenuto da due cuscinetti, fissati al telaio della locomotiva, che avevano il compito di supportare tutte le forze dipendenti dalla trasmissione. Altri due cuscinetti, disposti più internamente sull'albero, guidavano lo statore e stabilivano quindi la centratura; data la delicatezza di tale compito, essi erano sgravati quasi completamente da qualunque carico esterno, il peso dello statore venendo sopportato interamente da un sistema di molle elicoidali fissate al telaio della locomotiva. Lo statore, inoltre, era collegato al telaio mediante un sistema articolato che permetteva movimenti relativi di traslazione ma non di rotazione: in tal modo poteva adeguarsi a qualunque deformazione del telaio mantenendo inalterata la centratura rispetto al rotore, mentre il sistema articolato, opponendosi alle rotazioni, reagiva alla coppia motrice sviluppata dal motore. Naturalmente, data l'epoca, tutti i cuscinetti erano a strisciamento, lubrificati a olio.

Il sistema di sospensione dei motori aveva anche un altro compito. I due motori erano collegati fra loro in parallelo meccanicamente attraverso le bielle e, alle due velocità più alte, anche elettricamente sia lato statore, sia lato rotore (confronta lo schema a pag. 19 del numero scorso): quindi c'era una sorta di iperstaticità elettro-meccanica che esigeva una perfetta corrispondenza fra le posizioni relative di rotore e statore, per evitare uno squilibrio di carico fra i due motori. Era praticamente impossi-



La caratteristica biella di trasmissione a V, con angolo fra gli assi di circa 108 gradi (1,89 rad), permetteva una posizione dei motori molto più elevata rispetto alle locomotive precedenti, ma aveva lo svantaggio di una maggiore intensità delle forze di reazione; la coloritura in rosso delle bielle d'accoppiamento è in contrasto con le prescrizioni FS e pertanto è da considerarsi di fantasia (foto De Santis)

bile realizzare tale condizione con le normali tolleranze di costruzione, perciò il sistema articolato di sospensione dei motori aveva anche il compito di consentire la regolazione necessaria per un più corretto posizionamento.

Per concludere l'argomento della meccanica dell'E.330 resta da parlare del suo rodiggio: questo merita un capitolo a sè.

(continua)

Tabella A

EQUIPAGGIAMENTO E DIMENSIONI (stato d'origine)

Locomotiva trifase a frequenza ridotta per treni viaggiatori. Due motori di trazione polifasi asincroni a quattro velocità, sistema Stern-Milch; alimentazione bifase alla seconda e quarta velocità attraverso un autotrasformatore Scott; commutazioni elettriche mediante tre combinatori a comando elettro-pneumatico per complessivi 103 contatti. Reostato a liquido (soluzione acquosa di soda al 2%) a controllo automatico, sistema Kandó. Trasmissione a bielle, sistema Kandó. Telaio in lamiera d'acciaio dolce da 25 mm di spessore; rodiggio 1'«1» con carrelli Zara; asse centrale con gioco trasversale di 25 mm per parte; sospensione a balestre con bilancieri fra il primo e secondo e fra il terzo, quarto e quinto asse; dispositivo per variare la ripartizione del peso fra assi motori e assi portanti. Organi di presa di corrente sistema Brown Boveri. Freno pneumatico Westinghouse.

Classificazione FS	E.330.1 - 16 (1)			
Quantità	16			
Anno di ordinazione	1912			
Costruttori:				
- parte meccanica (E.330.1 - 8)	Soc. It. Ernesto Breda, Milano			
- parte meccanica (E.330.9 - 16)	Soc. It. Westinghouse, Vado Ligure			
- parte elettrica	Soc. It. Westinghouse, Vado Ligure			
Anno di consegna alle FS	1914			
Prima unità consegnata	E.330.9 (1)			
Scartamento (mm)	1.445			
Diametro delle ruote motrici (mm)	1.630 (2)			
Diametro delle ruote portanti (mm)	960 (2)			
Massa della parte meccanica (t)	31			
Massa della parte elettrica (t)	12			
Massa dei motori (t)	29			
Massa totale in ordine di servizio (t)	73			
Massa aderente (t)	51 (2)			
Tensione nominale d'alimentazione (V)	3.000 - 3.300			
Frequenza d'alimentazione (Hz)	15 - 16 2/3			
Corrente di regime orario (nei motori) (A)	200 (x 2)			
Corrente massima (nei motori) (A)	350 (x 2)			
Potenza effettiva (4)(3)(2) (kW)	2.000 (2) - 1.750 (2)			
Potenza specifica (2) (W/kg)	27,5			
Velocità nominale (10) (km/h)	37	50	75	100
Velocità di sincronismo (2)(10) (km/h)	38,4	51,2	76,8	102,4
Potenza assorbita (2)(7)(10) (kW)	900	850	2100	1800 (11)
Potenza effettiva (4)(2)(7)(10) (kW)	750	700	2000	1600 (11)
Forza di trazione (2)(4)(2)(7)(10) (kN)	75	50	95	60 (11)
(kg)	7500	5250	9500	6000
Forza di trazione massima (4)(2) (kN)	110	85	125 (12)	100 (11)
(kg)	11000	8500	13000	10000
Rendimento dei motori (2)(7)	0,88	0,87	0,94	0,93
Fattore di potenza (2)(7)	0,77	0,60	0,93	0,87
Volume di liquido del reostato (m ³)	0,68 (13)			
Potenza dei trasformatori per servizi ausiliari (kVA)	12 (x 2)			
Portata d'aria aspirata dai compressori (dm ³ /s)	16,7 (x 2)			
Velocità massima (km/h)	100			

NOTE - (1) la classificazione inizialmente prevista 0301 - 03016 (gruppo 030) è stata applicata praticamente, per breve tempo, sulla sola locomotiva 0309; le altre sono state immesse in servizio già con la classificazione E.330.1 - 16, adottata nella primavera del 1914; la classificazione definitiva a 6 cifre E.330.001 - 016 è stata adottata nel 1917 ma applicata praticamente su queste locomotive nel 1931 - (2) con cerchioni da 65 mm di spessore (i cerchioni da 70 mm applicati successivamente hanno portato il diametro a nuovo delle ruote motrici a 1640 mm) - (3) riducibile a 45 t con breve lavoro d'officina per le linee con limitazione a 15 t per asse - (4) ai cerchioni - (5) alla velocità di 75 km/h - (6) arrotondamento con errore minore del 3% - (7) a regime orario - (8) a regime continuativo - (9) riferita alla potenza nominale di 2000 kW - (10) con alimentazione a 16 2/3 Hz, 3300 V - (11) limite dell'autotrasformatore Scott - (12) limite dell'aderenza con coefficiente 0,25 - (13) aumentato a 0,96 dopo le prime prove per aumentare la capacità termica; le locomotive E.330.1 - 8 e .10 - 16 probabilmente sono state consegnate alle FS con reostato già ampliato.

Nascita dell'E.330

Prima locomotiva trifase a quattro velocità con completa utilizzazione dei motori, l'E.330 rappresenta un momento fondamentale dello sviluppo del sistema trifase. In questo articolo le principali tappe che hanno condotto dal primo brevetto del 1907 alla costruzione e all'immissione in servizio di sedici locomotive nel 1914.

Terza parte: Storia di un rodiggio - Estetica

Erminio Mascherpa

Storia di un rodiggio

È interessante il modo in cui il rodiggio dell'E.330 è stato realizzato. Per comprenderne meglio il significato, dobbiamo fare un lungo salto indietro nel tempo e portarci ancora una volta in Germania.

Il 25 ottobre 1888 a Berchtesgaden, centro di villeggiatura rinomato già a quel tempo, sul versante bavarese delle Alpi Salisburghesi, si festeggia l'arrivo della ferrovia. L'avvenimento, una delle tante inaugurazioni di strade ferrate del secolo scorso, avrebbe per noi ben poco interesse se il tracciato difficilissimo, con pendenze del 40 per mille e curve da 180 metri di raggio, non avesse portato all'ideazione di un nuovo dispositivo meccanico per le locomotive, destinato a conciliare le contrastanti esigenze di massa aderente elevata e facilità d'inserimento in curva: esso riguarda da vicino l'E.330.

Richard von Helmholtz, un prussiano trapiantato in Baviera, ingegnere capo della fabbrica di locomotive Krauss di Monaco e figlio del famoso scienziato Herrmann von Helmholtz, è l'ideatore di questo nuovo dispositivo, noto come «carrello Krauss-Helmholtz», il quale ha avuto un'influenza grandissima sulla costruzione delle locomotive europee: di fatto il numero delle locomotive costruite con questo dispositivo, nella forma originale o nelle sue varianti, è dell'ordine delle decine di migliaia.

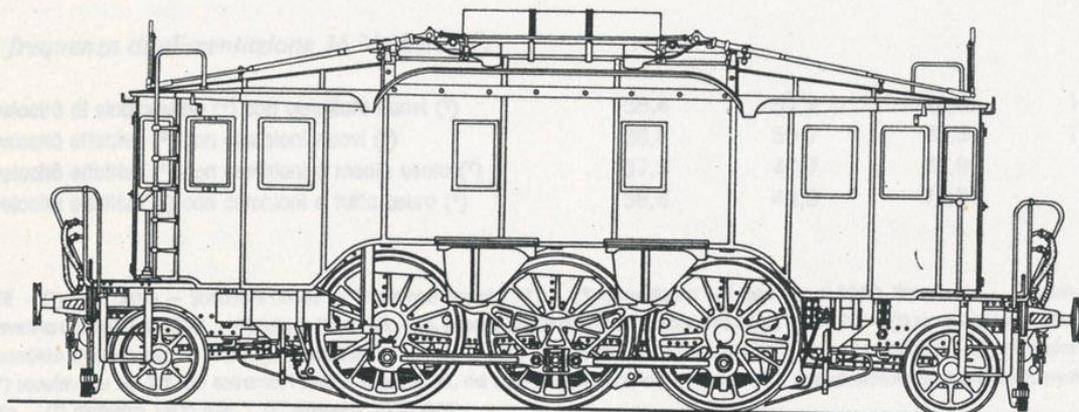
Il carrello Krauss-Helmholtz consiste in un collegamento meccanico a leva fra un asse portante, destinato a costituire l'estremità del rodiggio e fungere da sterzo, e l'asse motore adiacente, il quale viene reso libero di traslare trasversalmente. La leva di collegamento fra i due assi è imperniata sul telaio della locomotiva in un punto intermedio, in modo tale che l'asse portante, quando sterza da una parte affrontando una curva, costringe l'asse motore a traslare dalla parte opposta, mentre la forza che si scarica sul perno spinge trasversalmente il telaio della locomotiva, inducendola a girare nel senso desiderato.

Pagina opposta:

locomotiva E.330 (serie 009—016, lato destro) in fase di montaggio a Vado Ligure, nel 1914.

Il rodiggio con due carrelli Zara ha l'interessante caratteristica che tutti gli assi possono spostarsi trasversalmente in misura sensibile. Inoltre la ripartizione del peso fra assi motori e portanti può essere variata, con breve lavoro d'officina, per essere adeguata alle condizioni delle linee da percorrere (foto TIBB)

**LOCOMOTIVE E.330.001—008
(lato sinistro)**



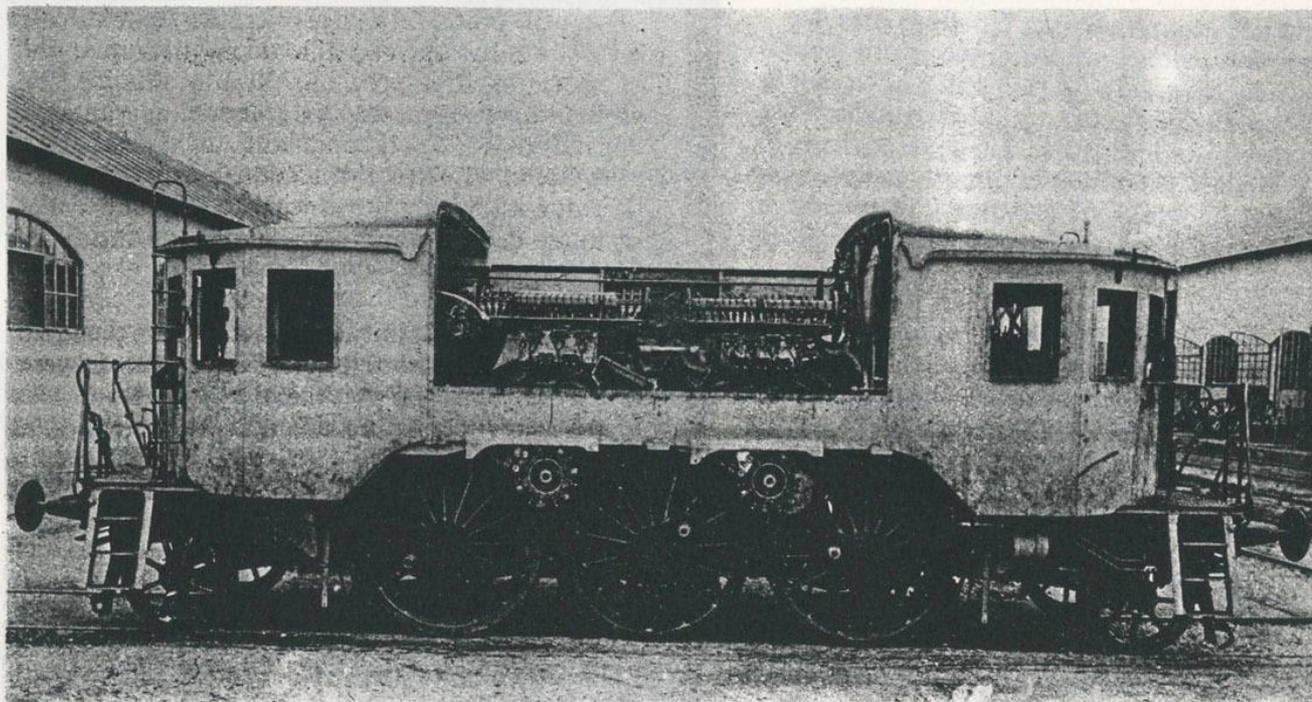
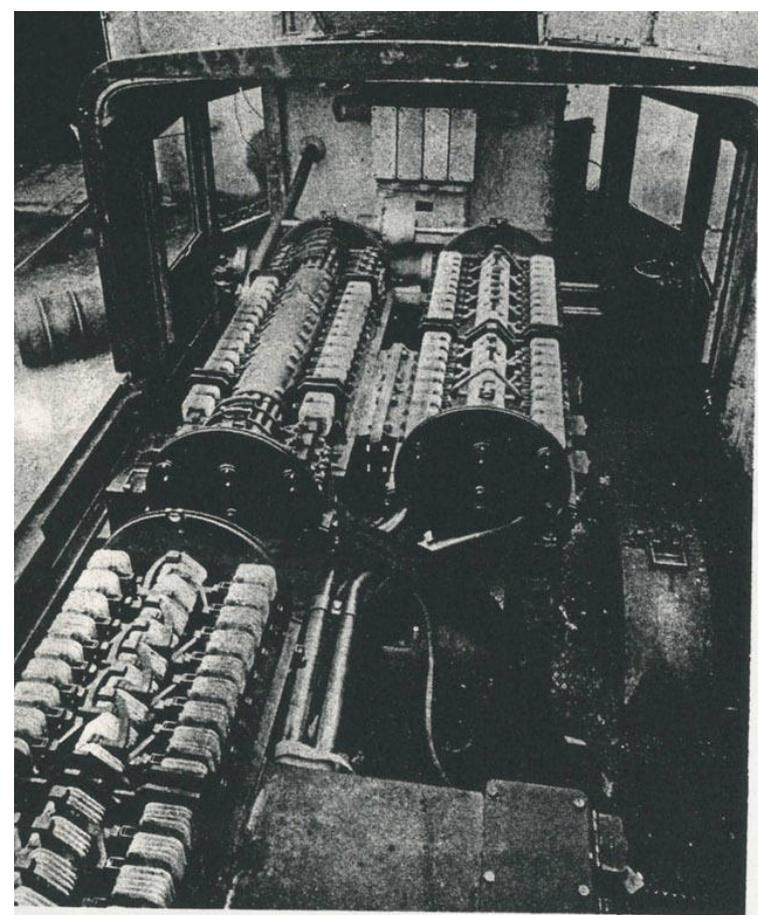


Tabella B

VELOCITÀ DELLA LOCOMOTIVA
(in chilometri all'ora)

	I	II	III	IV
A) frequenza di alimentazione 15 hertz (1)				
- velocità di sincronismo (*) con cerchioni nuovi (2)	34,6	46,1	69,1	92,2
- velocità effettiva (3) con cerchioni nuovi (2)	34,2	45,6	67,7	90,3
- velocità effettiva (3) con cerchioni a media usura (7)	33,6	44,7	66,5	88,6
- velocità effettiva (3) con cerchioni a tutta usura (8)	33,0	43,9	65,3	87,0
B) frequenza di alimentazione 15,8 hertz (2)				
- velocità di sincronismo (*) con cerchioni nuovi (2)	36,4	48,5	72,8	97,0
- velocità effettiva (3) con cerchioni nuovi (2)	36,0	48,0	71,4	95,1
- velocità effettiva (3) con cerchioni a media usura (7)	35,3	47,1	70,0	93,4
- velocità effettiva (3) con cerchioni a tutta usura (8)	34,7	46,3	68,7	91,6
C) frequenza di alimentazione 16 2/3 hertz (3)				
- velocità di sincronismo (*) con cerchioni nuovi (2)	38,4	51,2	76,8	102,4
- velocità effettiva (3) con cerchioni nuovi (2)	38,0	50,7	75,3	100,4
- velocità effettiva (3) con cerchioni a media usura (7)	37,3	49,7	73,9	98,5
- velocità effettiva (3) con cerchioni a tutta usura (8)	36,6	48,8	72,5	96,7

NOTE - (1) linee Lecco - Sondrio e Colico - Chiavenna fino al 1917 - (2) linea Monza - Lecco fino al 1930, linee Lecco - Sondrio e Colico - Chiavenna dal 1917 al 1930 - (3) tutte le linee della rete, eccetto quelle della nota precedente prima del 1930 - (*) sincronismo di entrambi i motori in parallelo (terza e quarta velocità), sincronismo del solo motore secondario in cascata (prima e seconda velocità) - (2) diametro 1630 mm - (3) scorrimento del 2% (in entrambi i motori in parallelo, nel solo motore secondario in cascata), corrispondente approssimativamente al regime orario - (7) diametro 1600 mm - (8) diametro 1570 mm.



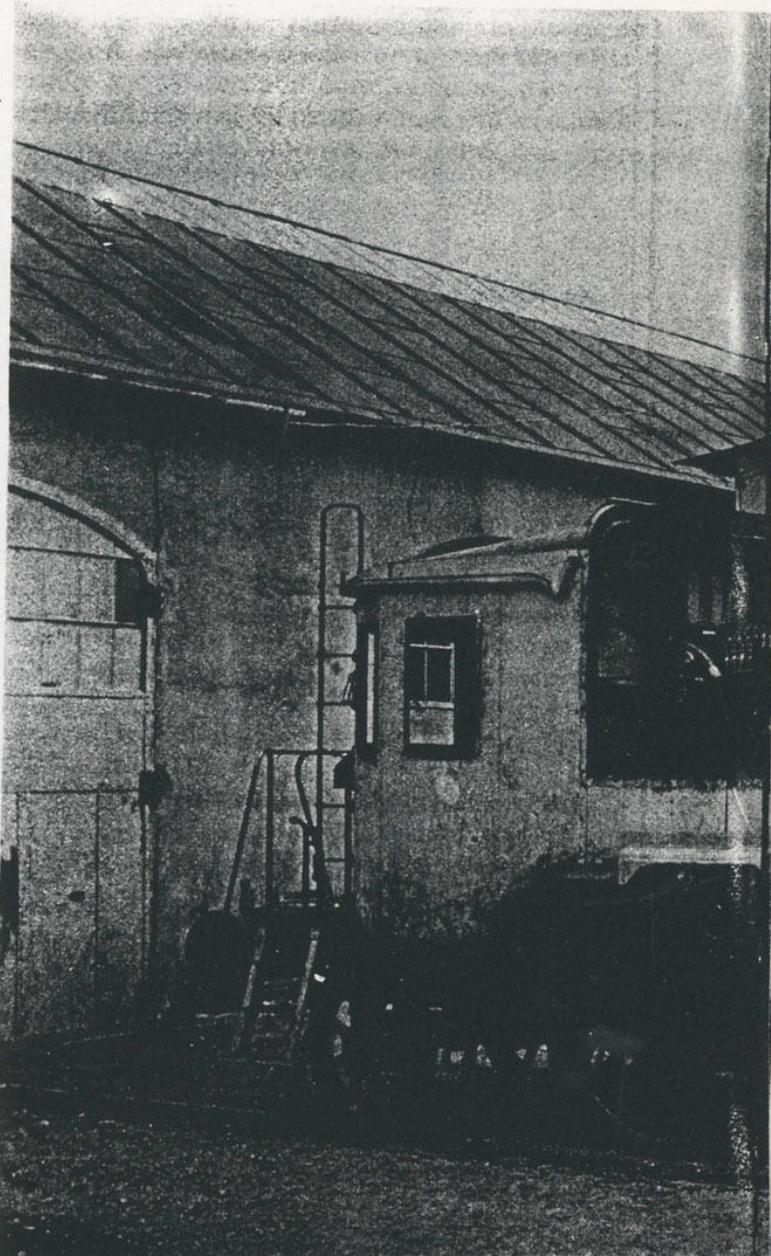
*Sopra:
interno di un'E.330 in fase di montaggio;
i tre combinatori, che nascondono alla vista i motori,
sono aperti e mostrano la maggior parte
dei loro 103 contatti;
i due grossi tubi longitudinali, verso il centro,
contengono i cavi d'alimentazione ad alta tensione
(bifasi provenienti dall'autotrasformatore Scott
nel tubo di sinistra,
trifasi provenienti dall'interruttore primario
nel tubo di destra);
i tre cavi disposti di traverso, verso il centro,
collegano il combinatori con i tre anelli trifasi
del collettore del motore anteriore.
Come si può vedere, ai tempi dell'E.330
l'arredamento interno delle locomotive elettriche
era più che spartano:
le diverse apparecchiature, anche ad alta tensione,
non erano nemmeno chiuse in un'apposita cabina
ma erano poste nello stesso ambiente
in cui operava il macchinista (foto TIBB)*

*A lato:
locomotive E.330 in montaggio
nello stabilimento Westinghouse di Vado Ligure,
nel 1914;
la coloritura è ancora nella tinta cenere di fondo
(vedi la tabella C, punto 2);
a costruzione ultimata si procederà
alla coloritura definitiva in nero brillante,
fiancate del telaio e ruote in rosso terra,
traverse di testa in rosso cinabro
(foto TIBB)*

All'atto pratico il carrello Krauss-Helmholtz ha dimostrato di conferire alla locomotiva una bontà di marcia in curva paragonabile a un classico "bogie" all'americana, ma col grandissimo vantaggio di guadagnare, a pari condizioni, un'asse motore in più! Quindi rispetto al tradizionale carrello di guida a due assi il rapporto fra massa aderente e massa totale della locomotiva viene aumentato in misura decisiva.

Sulle linee ferroviarie italiane, in gran parte tortuose e ad armamento leggero, un sistema del genere sarebbe stato provvidenziale. È merito di Giuseppe Zara, tecnico autodidatta dell'ufficio studi di Firenze della Rete Adriatica, l'aver recepito l'idea dello Helmholtz progettando, ai primi del nostro secolo, due notevoli varianti, conosciute come «carrello italiano» e «carrello Zara», le quali sono state riconosciute degne d'interesse perfino in Germania, patria del dispositivo originale.

Il rodiggio dell'E.330 è costituito da due carrelli Zara più un terzo asse motore intermedio, a costi-



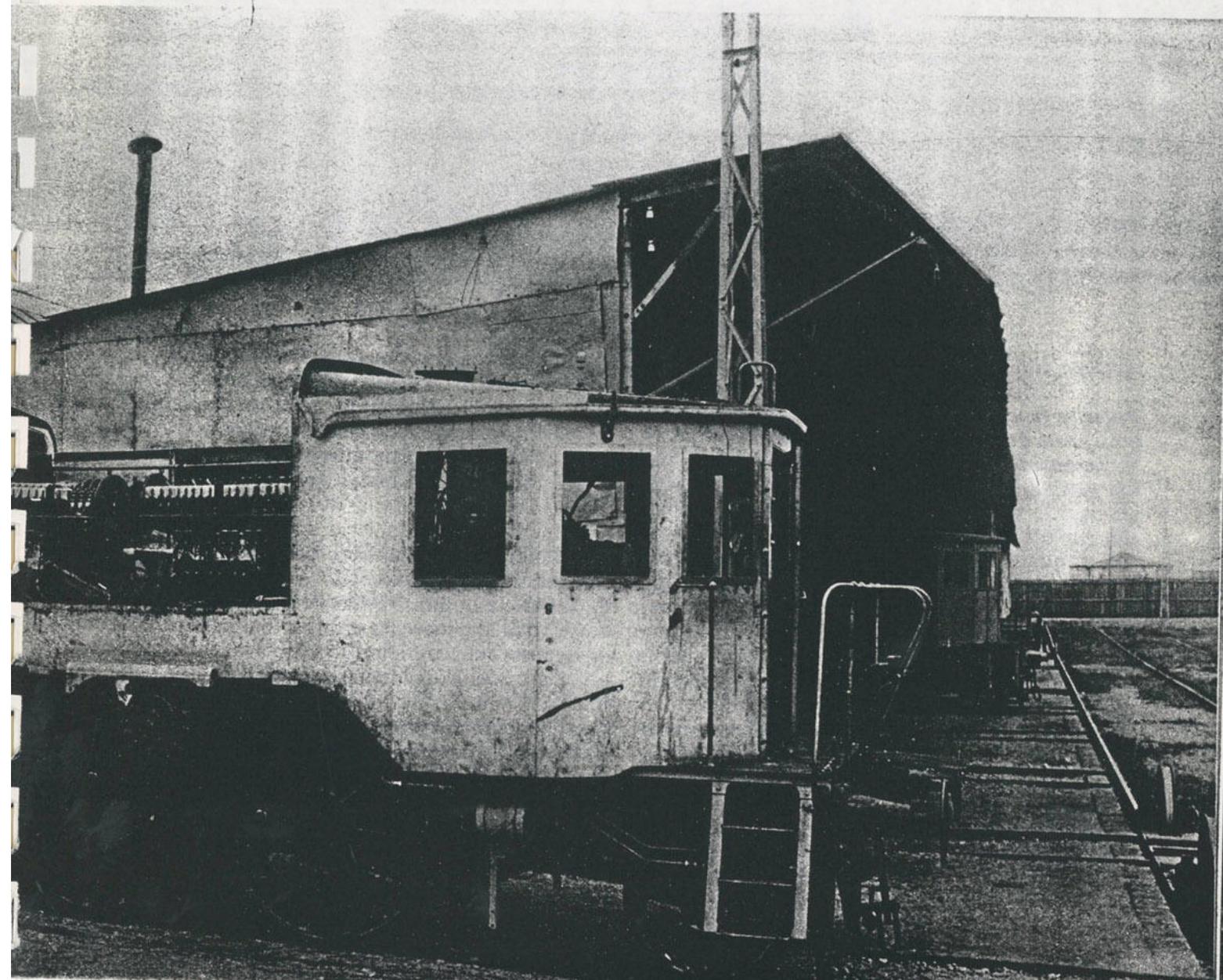
tuire uno schema 1'C1'. Strutturalmente il carrello Zara è pressochè identico al Krauss-Helmholtz; l'unica importante differenza è che esso, oltre a ruotare, può anche traslare trasversalmente rispetto al telaio della locomotiva, con richiamo elastico costituito da molle a bovolo precaricate (per inciso, anche in Germania il Krauss-Helmholtz si è poi evoluto proprio in una forma analoga).

Rispetto al Krauss-Helmholtz, il carrello Zara offre una maggiore dolcezza d'inserimento in curva, grazie all'accoppiamento elastico, e forse una minore usura dei bordini; per contro esige una maggiore cura nel montaggio, dato che errori di taratura delle molle di richiamo possono insidiarne la regolarità di funzionamento.

La maggiore libertà di movimento del carrello Zara (rotazione + traslazione) influenza il comportamento dinamico della locomotiva, chiamando in causa il progetto dell'intero rodiggio. Nei primi anni del secolo gli ingegneri erano riluttanti ad adottare uno schema 1'C1' con due carrelli di tipo Zara, poichè la locomotiva sarebbe risultata addi-

rittura priva di passo rigido! Nelle locomotive trifasi "valtelinesi" (gruppi 36 e 38 RA, poi FS, fotografie su *IF* 224, pag. 21) si era fatto un compromesso adottando uno schema 1'C1' apparentemente simmetrico ma in realtà dissimmetrico, essendo costituito anteriormente da un carrello tipo Zara (nella forma "carrello italiano") e posteriormente da uno privo di traslazione (cioè cinematicamente identico a un Krauss-Helmholtz), affinché il rodiggio, pur privo di passo rigido, fosse almeno staticamente determinato. Come ci si poteva aspettare, quelle locomotive all'atto pratico hanno manifestato un comportamento anch'esso dissimmetrico: in un senso di marcia andavano meglio che nell'altro (e benissimo nè in un senso nè nell'altro).

Nel progetto dell'E.330 si è seguita la strada opposta. Abbandonato ogni artificio per "bloccare" trasversalmente la locomotiva rispetto al binario, si sono adottati due veri carrelli Zara e inoltre si è reso il rodiggio ancora più "sciolto" concedendo libertà di traslazione anche all'asse motore centra-



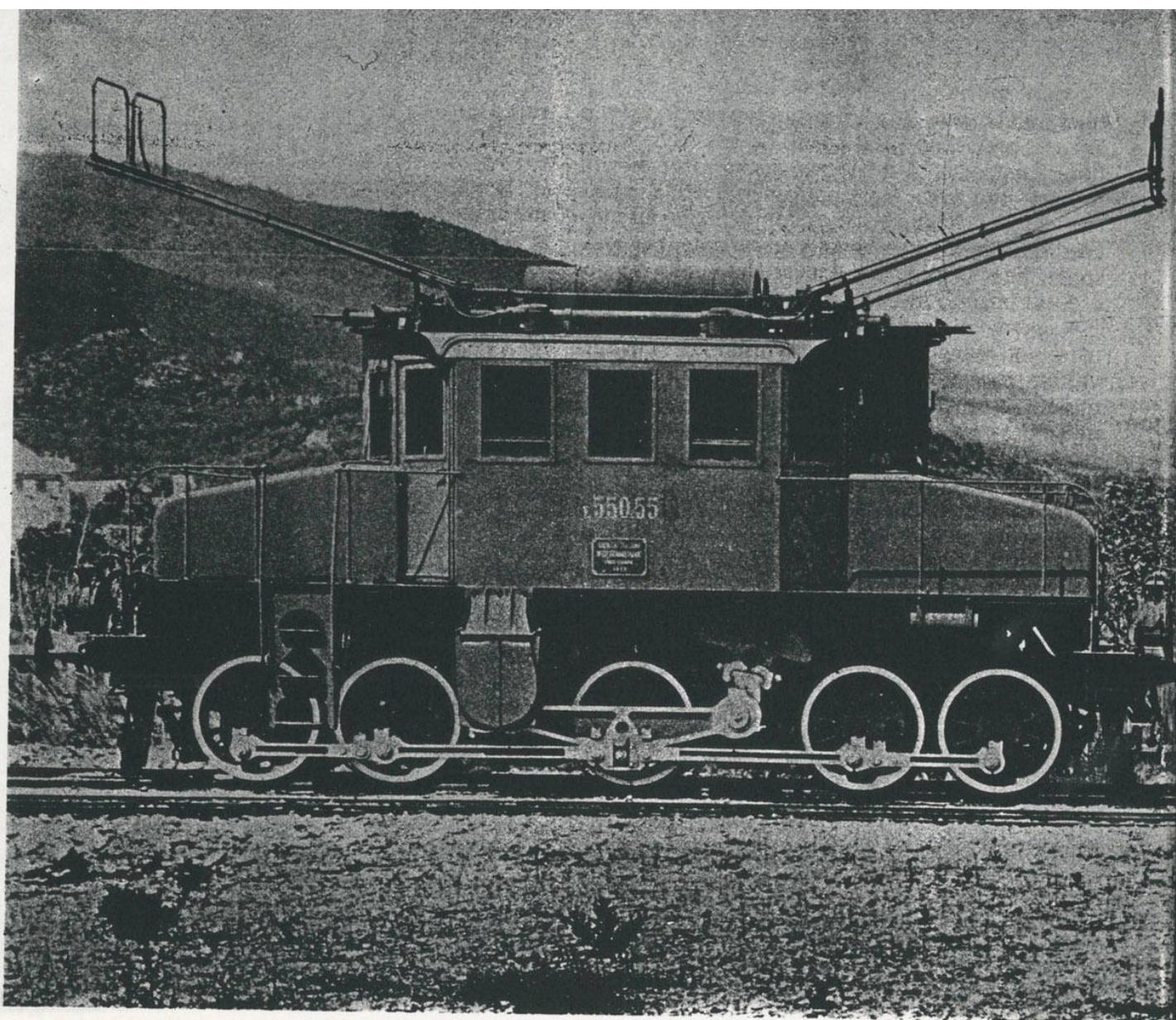


Foto di famiglia a Vado Ligure, verso ottobre 1914: locomotive E.550.055 ed E.330.005, tinteggiate in grigio per l'occasione; l'estetica di queste locomotive, pur molto diversa, lascia intuire la medesima paternità nel disegno dei particolari (foto TIBB)

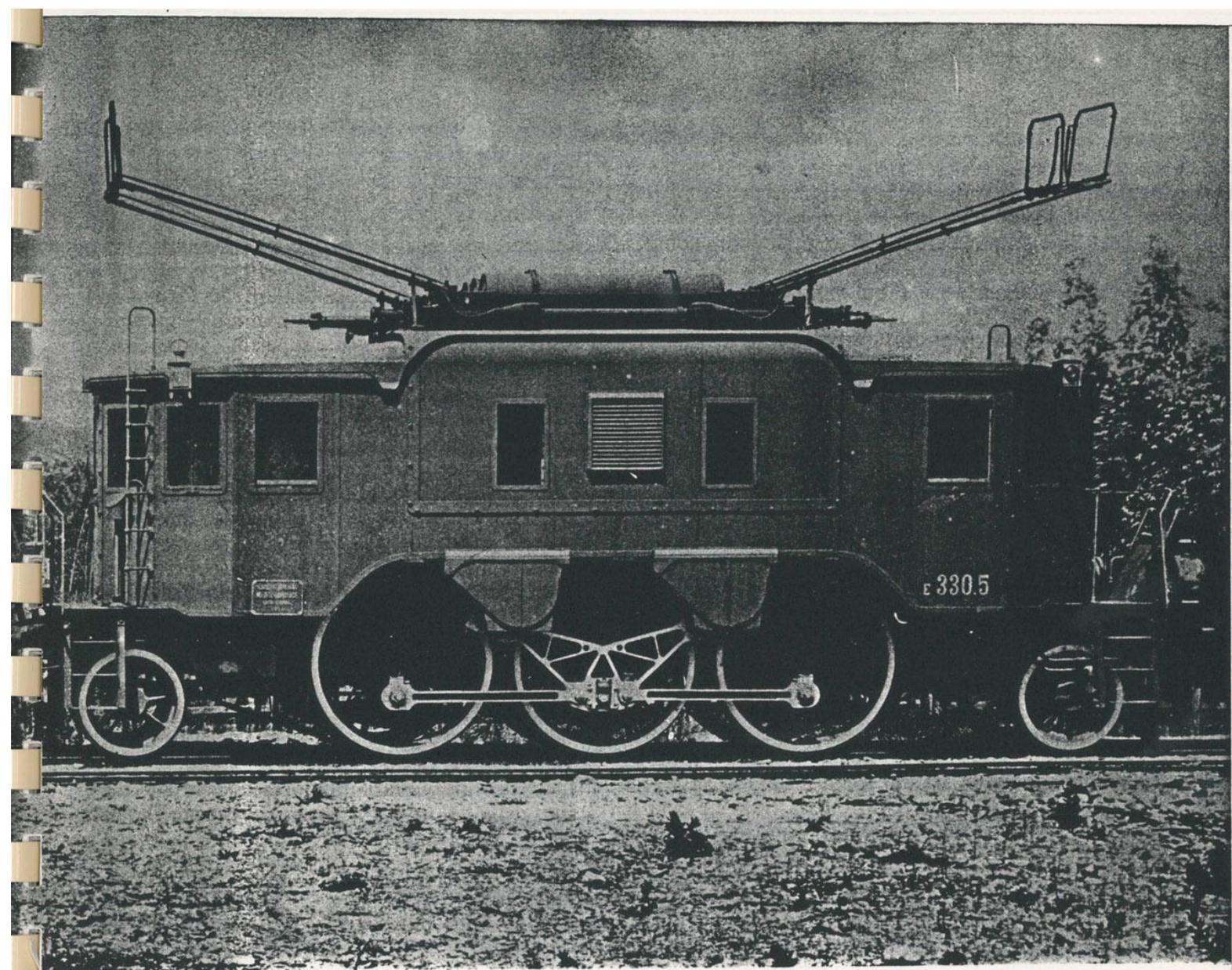
le; quindi la stabilità dinamica dell'E.330 restava affidata interamente agli organi di richiamo dei carrelli e in questo si può ravvisare un aspetto di modernità, poiché nelle locomotive del giorno d'oggi si seguono criteri analoghi, sia pure attraverso forme affatto differenti e in modi infinitamente più raffinati. Nell'E.330 quindi tutti gli assi potevano spostarsi trasversalmente, cosicché il corpo della locomotiva poteva sia ruotare, sia traslare trasversalmente rispetto al binario (naturalmente entro certi limiti!).

Il rodiggio dell'E.330 riflette una tendenza che stava diffondendosi in quegli anni. Anche le locomotive E.320 a corrente continua, costruite all'incirca contemporaneamente, hanno un rodiggio

analogo (la presenza di "carrelli italiani", anziché Zara, è irrilevante dal lato cinematografico).

Il carrello Zara consente di variare, in officina, la ripartizione del carico fra i vari assi. Così nell'E.330 la massa aderente, normalmente di 51 tonnellate, poteva essere ridotta a 45 sulle linee che non ammettevano più di 15 t per asse. Il peso era ripartito fra i cinque assi mediante un sistema dissimmetrico di bilancieri: da una parte erano collegati il primo e secondo asse, dall'altra il terzo, quarto e quinto; i bilancieri avevano anche il compito di attenuare le perturbazioni indotte dai giunti delle rotaie durante la marcia della locomotiva. Scopo della dissimmetria era di prevenire fenomeni di risonanza: in un'epoca in cui era comune l'armamento del binario con rotaie in spezzoni da 12 metri, la distanza fra due giunti consecutivi era poco maggiore del passo della locomotiva!

Il diametro delle ruote motrici, 1,63 metri con cerchioni da 65 mm di spessore, era stato scelto per soddisfare l'esigenza che la seconda velocità coincidesse, all'incirca, con la velocità delle locomotive E.550, affinché fosse possibile la doppia trazione



promiscua. Quindi le quattro velocità di regime dell'E.330 risultavano pari a circa 37, 50, 75, 100 chilometri all'ora (con alimentazione a $16 \frac{2}{3}$ Hz): data la caratteristica rigida dei motori, esse variavano poco al variare del carico. Affinchè il lettore possa meglio rendersi conto del margine di oscillazione della velocità dell'E.330, nella tabella B ho riassunto alcuni valori calcolati in diverse condizioni di funzionamento; si intende che la locomotiva poteva assumere anche velocità intermedie fra quelle in tabella, al variare del carico e dell'usura dei cerchioni. In discesa i motori funzionavano spontaneamente da generatori, senza alcun intervento del macchinista: la locomotiva frenava restituendo energia elettrica alla linea e la velocità si manteneva pressochè costante, poco al di sopra della velocità di sincronismo.

Nella pratica il comportamento dinamico dell'E.330 è risultato molto buono, sia in rettilineo, sia in curva, anche alla velocità più alta. Queste locomotive erano avvantaggiate da una favorevole distribuzione delle masse, molto raccolte intorno al baricentro, che ne riduceva il momento d'inerzia:

le E.330 sono sicuramente fra le locomotive più "compatte" che abbiano mai circolato sui binari italiani.

Estetica

La linea estetica dell'E.330 è rimasta unica al mondo, inconfondibile fra le locomotive di tutti i tempi. Nel suo disegno traspare la medesima meticolosa ricerca, il gusto del particolare raffinato, che già avevano caratterizzato l'E.550, lasciando intuire una medesima paternità.

La coerenza estetica dell'E.330 è sorprendente, se si considerano i vincoli geometrici imposti dalle necessità tecniche. Il grande diametro di ruote e motori e la posizione alta di questi ultimi impedivano di continuare la linea delle locomotive trifasi precedenti, perciò tutte le apparecchiature sono state concentrate nella parte centrale, portando invece verso le estremità i posti di guida. A differenza delle locomotive precedenti, i motori si dovevano montare sul telaio dall'alto, data la loro posizione elevata, perciò la parte della cassa sovrastan-

te i motori stessi doveva essere facilmente amovibile per consentire il lavoro in occasione delle grandi riparazioni cicliche. Nella parte centrale della locomotiva erano fisse la fiancata sinistra e una porzione inferiore di quella destra; la porzione restante della fiancata destra e il tetto, solidale con essa, erano amovibili, essendo collegati alle parti fisse mediante una serie di bulloni, ben visibili nei disegni e nelle fotografie (alcune di queste mostrano la locomotiva aperta durante il montaggio). La fiancata destra era caratterizzata dalla presa d'aria a persiana del ventilatore dei motori, situata proprio nel mezzo fra i due finestrini centrali.

Le estremità della cassa, contenenti i posti di guida, erano curiosamente a pianta poligonale, che approssimava un arco di parabola. Il tetto sopra questa parte era spiovente, come necessario per consentire l'abbassamento del trolley.

Superiormente, le fiancate erano separate esteticamente dal tetto da un'ampia grondaia, il cui disegno contribuiva in misura sensibile all'effetto estetico complessivo. Inferiormente, nella parte centrale la cassa seguiva la linea delle ruote, interrotta soltanto dalle grosse custodie, molto sporgenti, dei collettori dei motori.

Alle estremità della locomotiva c'erano i terrazzini per l'accesso del personale, sia da terra mediante scalette, sia dal treno mediante passerella. Al tempo della progettazione la trazione elettrica in pianura si effettuava ad agente unico, quindi

l'intercomunicazione col treno era una necessità per consentire, all'occorrenza, l'intervento del capotreno in aiuto del macchinista; peraltro sulle E.330 fin dai primi tempi di esercizio si sono impiegati due agenti, un macchinista e un aiutomacchinista, anche a scopo di istruzione. Pochi mesi più tardi, nel novembre 1914, la marcia ad agente unico fu abolita sull'intera rete FS per motivi di sicurezza e le passerelle d'intercomunicazione delle locomotive, divenute superflue, in seguito sono state soppresse.

Lo schema di coloritura dell'E.330 era identico alle locomotive a vapore (vedi la tabella C, in particolare il punto 8; vedi anche *IF* 209), cioè interamente in nero brillante, eccettuate le ruote e le fiancate del telaio, che erano in rosso ocra (terra rossa), e le traverse di testa, in rosso cinabro con marche in bianco. Le bielle erano completamente pulimentate a macchina, perciò avrebbero dovuto essere protette unicamente da un velo d'olio, senza alcuna coloritura; spesso però le officine ne colorivano l'anima in nero.

L'estetica delle locomotive trifasi, basata essenzialmente sul gioco dei volumi, risultava depressa dalla coloritura in nero, tanto più con quella finitura lucida brillante (*flating*) che voleva essere elegante ma aveva il difetto di "sparare" le luci, finendo col peggiorare ulteriormente l'effetto negativo della coloritura in nero. È evidente che nella scelta dello schema di coloritura le FS tenevano in

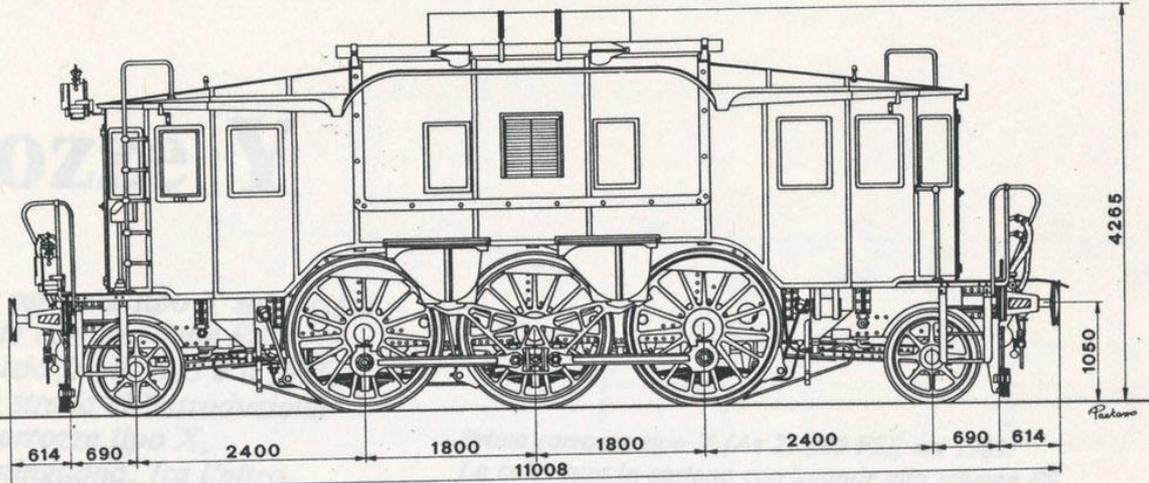
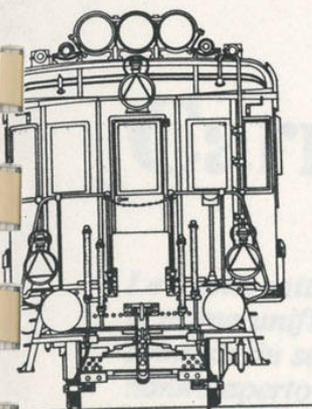
Tabella C

NORME DI COLORITURA PER L'E.330 (anno 1912)

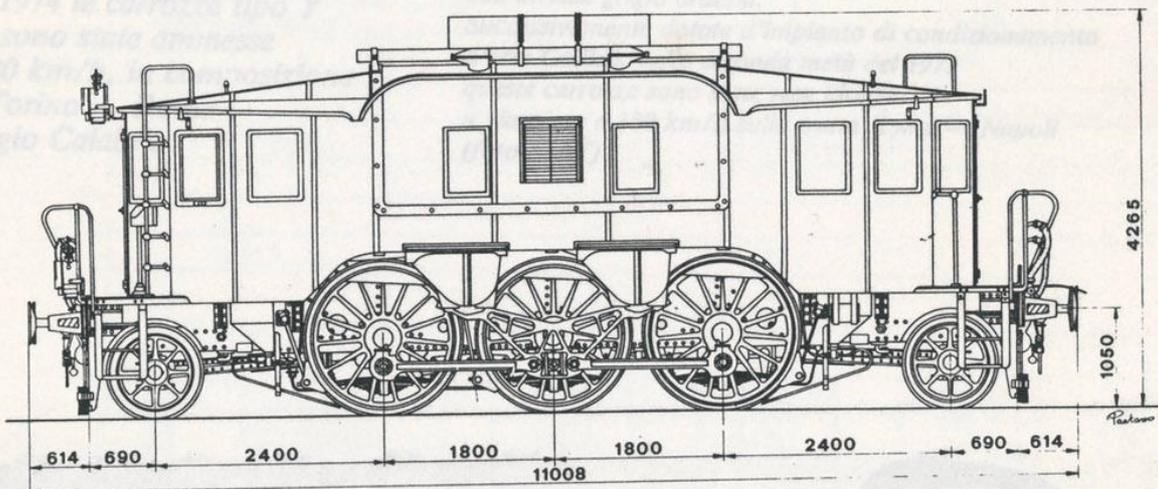
La coloritura di tutte le parti in vista consiste nelle seguenti operazioni:

- 1) asportazione di qualsiasi traccia di ruggine, spalmando con olio di lino crudo e acqua ragia e pomiciando;
- 2) due mani di tinta cenerina, composta di biacca, nero fumo, olio di lino cotto e una piccola quantità di acqua ragia;
- 3) stuccatura delle committiture e delle teste delle viti;
- 4) applicazione, col mestichino, di due strati di mestico, composto di biacca, una piccola quantità di nero fumo, acqua ragia e vernice "flating";
- 5) pomiciatura generale;
- 6) una mano di tinta cenerina a base d'olio di lino e biacca;
- 7) ritocatura col mestico, pomiciatura del medesimo e sua coloritura con tinta cenerina;
- 8) due mani di tinta nera ad olio, con piccola quantità di acqua ragia e vernice essiccante; le fiancate del telaio riceveranno invece due mani di tinta a base di terra rossa, le traverse di testa riceveranno due mani di tinta di cinabro e le pareti interne della cabina saranno colorate in giallo chiaro;
- 9) dipingitura delle marche in bianco sulle traverse di testa;
- 10) due mani di vernice a pulire;
- 11) seppiatura e cenciatura generale;
- 12) una mano di vernice trasparente a finire ("flating").

Tutte le altre parti metalliche della locomotiva e dei suoi oggetti di corredo, escluse quelle che devono essere pulimentate, riceveranno, dopo essere state accuratamente dirugginite, una mano di minio, una di nero fumo, una di nero di Francoforte e una di vernice ("flating"). Le parti di legno riceveranno due mani d'olio di lino cotto e una di vernice ("flating").



Le locomotive E.330.001—008, costruite dalla Breda (in alto), differivano dalle E.330.009—016 (in basso) per la fascia di finitura che bordava inferiormente la cassa e per altri particolari (in colore nel disegno per maggiore evidenza)



minimo conto le esigenze estetiche e puntavano soprattutto all'economia: la scelta di colori più gradevoli sarebbe stata certamente più dispendiosa, per il maggiore costo dei pigmenti e in certi casi per la maggiore delicatezza delle operazioni di coloritura. Perciò le FS hanno continuato a ripetere per decenni questo schema, derivato probabilmente dalla cessata Rete Adriatica, badando alla praticità, senza curarsi troppo se esso si attagliasse più o meno all'estetica delle diverse locomotive; conferma di questo orientamento è la scelta di una tinta a base di terra rossa per la coloritura di ruote e telaio, che oltre ad essere molto economica era la stessa che veniva usata per i carri merci, quindi c'era anche un vantaggio di approvvigionamento.

In occasione delle fotografie ufficiali le locomotive venivano colorite in grigio opaco, per evitare la povertà di toni che sarebbe risultata da un soggetto nero lucido; naturalmente dopo le prese fotografiche la coloritura provvisoria in grigio veniva eliminata. Le fotografie di fabbrica che corredano questo articolo mostrano la locomotiva E.330.005 con tale coloritura d'occasione. Nessun problema invece per le fotografie prese durante il montaggio, perché in questa fase la coloritura delle locomotive era ancora limitata alle mani di fondo in tinta "cenerina" (tabella C, punti da 2 a 7), adatta di per sé alla fotografia.

Le prime otto E.330 (prime in ordine di numero, in realtà ultime ad essere consegnate alle FS) erano costruite dalla Breda e differivano esteriormente dalle altre per una fascia di finitura che correva lungo il bordo inferiore della cassa e per la forma leggermente diversa della grondaia, come si vede nelle fotografie e meglio ancora nei disegni. La realizzazione delle finiture non veniva stabilita nel progetto ma era lasciata all'arte delle case costruttrici, perciò è naturale che ci fossero diversità di dettaglio anche notevoli fra le locomotive costruite da case differenti.

Il fatto che le E.330 con finiture più elaborate fossero quelle della Breda è probabilmente casuale ma, dati i tempi e le circostanze, non si può escludere lo spirito competitivo di una casa di lunga tradizione in Italia: «Glielo facciamo vedere noi, a questi nuovi arrivati della Westinghouse, come si rifinisce una locomotiva!». L'antagonismo fra Breda e Westinghouse lo vedremo meglio nel prossimo capitolo.

Si può pronunciare un giudizio finale sull'estetica dell'E.330? Anche da specialisti di estetica industriale ho sempre udito giudizi contrastanti su questa locomotiva: «un capolavoro!» oppure «orribile!». Mediocre però mai! Opera di una forte personalità, l'estetica dell'E.330 non ama le mezze misure.

Ferrovie

italmodel

GIUGNO 1979 lire 2400
Rivista mensile Ediz. EMME - Verona
Spedizione in abb. post. gr. III/70

227



Nascita dell'E.330

Prima locomotiva trifase a quattro velocità con completa utilizzazione dei motori, l'E.330 rappresenta un momento fondamentale dello sviluppo del sistema trifase. In questo articolo le principali tappe che hanno condotto dal primo brevetto del 1907 alla costruzione e all'immissione in servizio di sedici locomotive nel 1914.

Quarta parte: Ballata di una targa - Conclusione

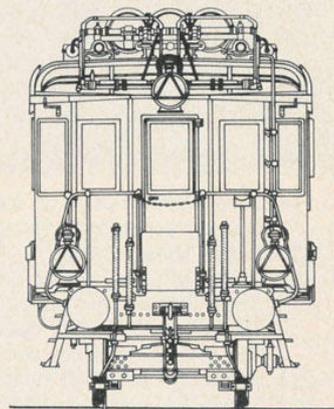
Erminio Mascherpa

Ballata di una targa

Nei primi capitoli abbiamo incontrato i creatori dell'E.330: Manu Stern, che delinè gli schemi elettrici fondamentali della macchina (anticipando inoltre soluzioni tecniche adottate in altre locomotive trifasi); Maurice Milch, l'ingegnere ungherese che ideò un fondamentale perfezionamento dei motori e, nella sua posizione di libero professionista a Budapest, costituì verosimilmente il *trait d'union* fra le idee di Stern e quelle dei tecnici ungheresi che stavano progettando le locomotive trifasi italiane; Kálmán Kandó, il principale e geniale artefice delle prime locomotive trifasi, che trasferì nell'E.330 l'esperienza della sua piccola, grande E.550, riprendendo da questa locomotiva alcuni apparecchi tali e quali e progettandone altri nuovi appositamente.

Stern, Milch, Kandó... tutti nomi stranieri. In Italia nell'epoca di cui parliamo non c'era nessuno in grado di progettare e costruire una locomotiva trifase e questa era la conseguenza dello stato di arretratezza della nostra industria, che impediva la formazione di ingegneri di sufficiente esperienza. Fin quasi al periodo della prima guerra mondiale l'industria italiana non era in grado di costruire autonomamente nemmeno le locomotive a vapore, figuriamoci quelle elettriche, che allora erano macchine di avanguardia!

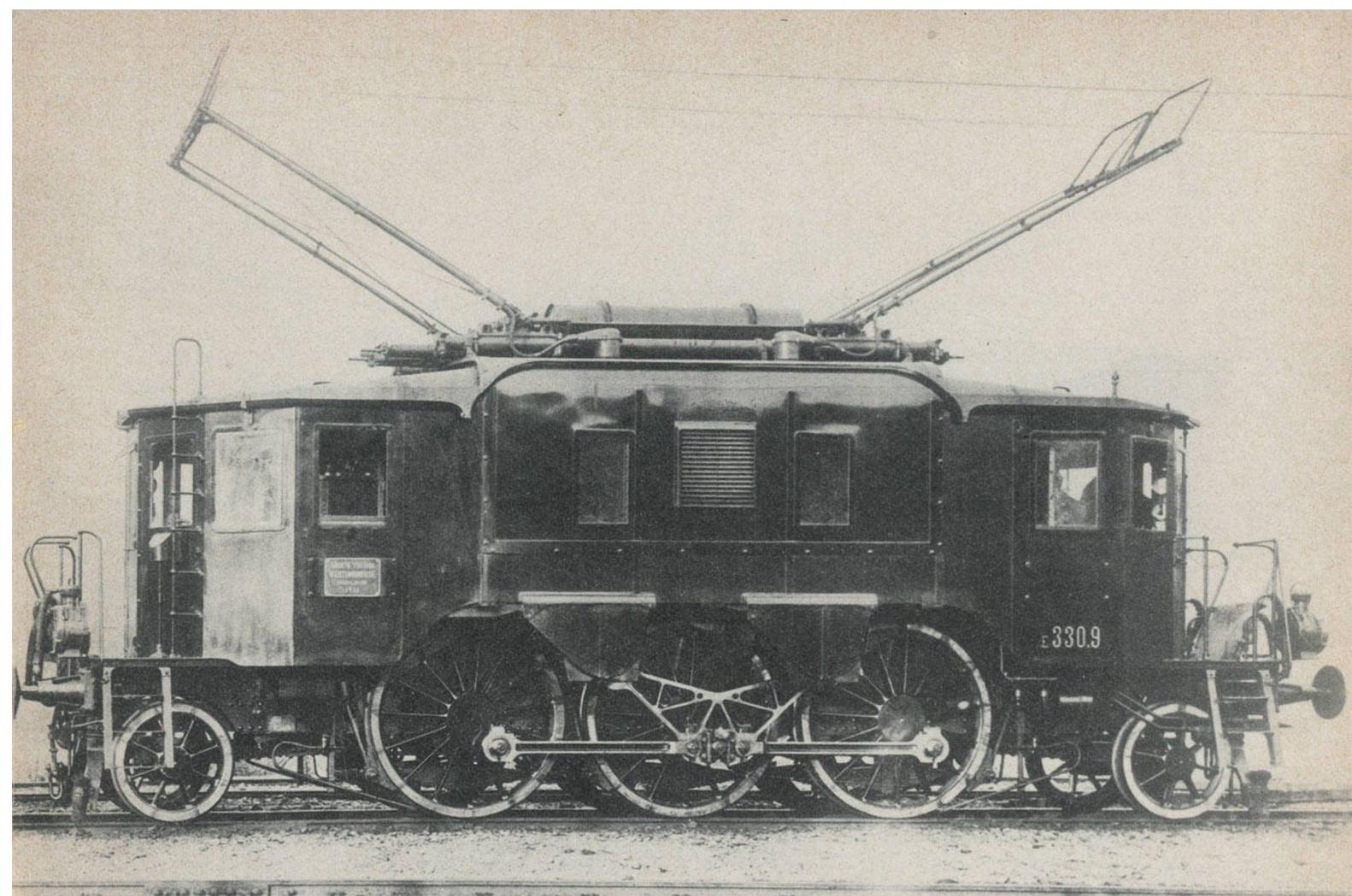
Il merito italiano nell'E.330 è di aver creato le condizioni per la sua realizzazione ed è merito di non poco conto, se si considera che lo sviluppo della trazione elettrica, muovendosi naturalmente in opposizione alla trazione a vapore, toccava interessi di grandi dimensioni. Il primo programma di elettrificazioni delle FS dà prova di un'ampiezza di vedute e di un coraggio fuori del comune, considerando che le stesse FS erano appena nate, in seguito alla nazionalizzazione delle ferrovie italiane nel



1905, e che in quel tempo la trazione elettrica ferroviaria nel mondo era ai primordi. Il programma FS, stabilito nel 1906 sotto la guida dell'ing. Riccardo Bianchi, prevedeva l'elettrificazione entro il 1911 di alcune linee di valico importanti, precisamente quelle dei Giovi, del Fréjus, la Savona — San Giuseppe (da estendersi successivamente fino a Ceva), la Porrettana e la Napoli — Salerno con la diramazione Torre Annunziata — Castellammare di Stabia, e di alcune linee pianeggianti o moderatamente acclivi facenti capo a Milano, precisamente la Milano — Lecco con la diramazione Usmate — Bergamo, la Milano — Arona con la diramazione Gallarate—Laveno e il tratto Domodossola — Iselle, che con una successiva elettrificazione del tratto Arona — Domodossola avrebbe reso interamente a trazione elettrica la linea del Sempione da Milano a Briga. Per tutte queste elettrificazioni era previsto il sistema trifase (nel tratto Milano — Gallarate il bifilare trifase si sarebbe sovrapposto alla terza rotaia a corrente continua già esistente, di cui si ventilava già la soppressione in un secondo momento).

Era quello che ci voleva per attirare in Italia il capitale straniero e i tecnici stranieri interessati allo sviluppo della trazione elettrica. L'atto più rilevante fu la creazione della Società Italiana Westinghouse, la quale a tempo di primato eresse lo stabilimento di Vado Ligure, prima officina al mondo sorta espressamente per la costruzione di locomotive elettriche.

Non è difficile immaginare con quanta simpatia i costruttori di locomotive a vapore vedessero l'Italiana Westinghouse, che minacciava i loro interessi nel modo più diretto! Ogni locomotiva elettrica che usciva dalle officine di Vado significava due grosse locomotive a vapore in meno ordinate



Locomotiva E.330.009, prima costruita e unica con la targa «Westinghouse» nella posizione di progetto; la marcatura «E.330.9» è dipinta provvisoriamente a bianca, le cifre in bronzo piccole essendo state applicate solo nel 1917; la fotografia è del 1915 circa (foto Breda)

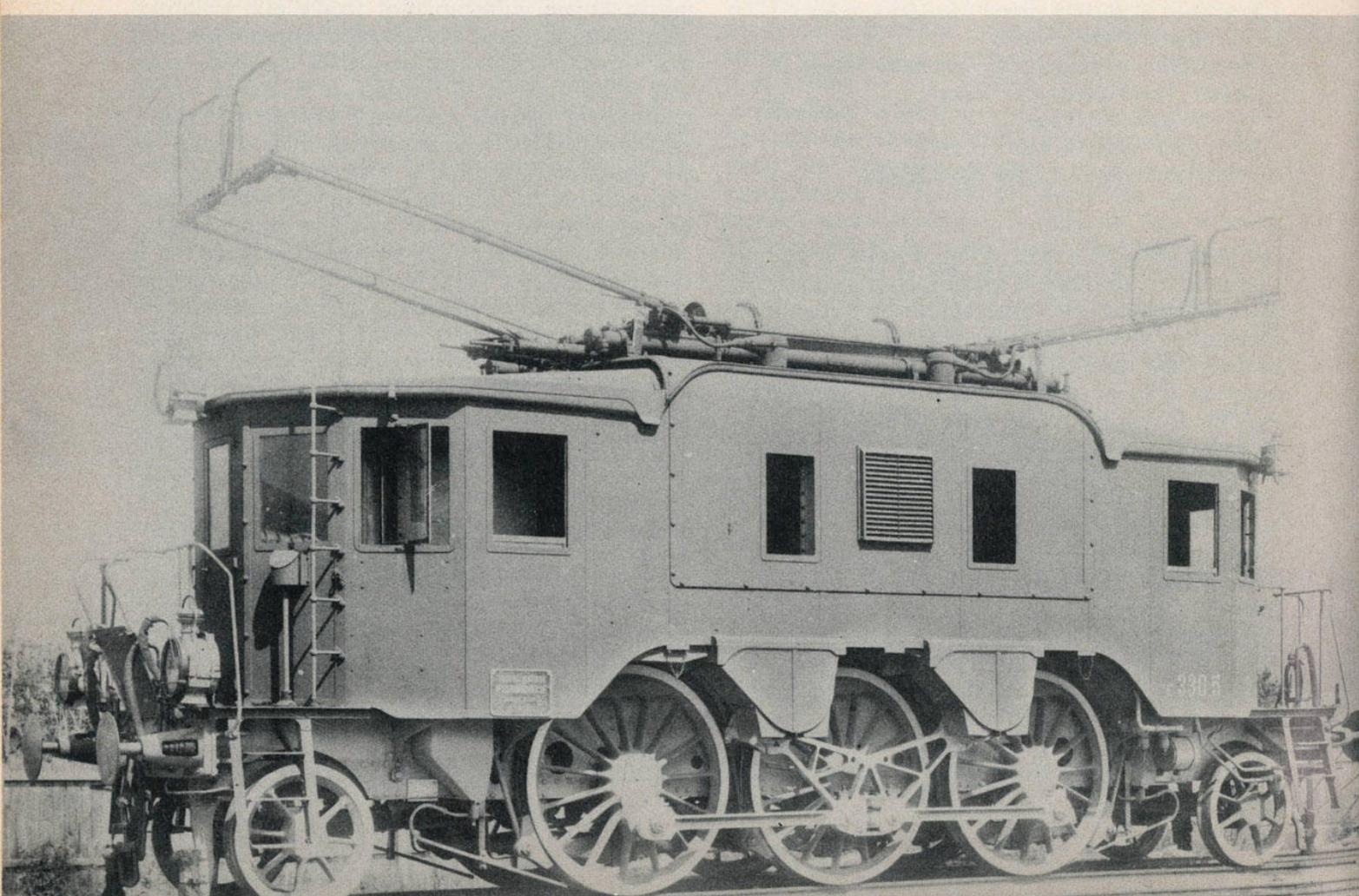
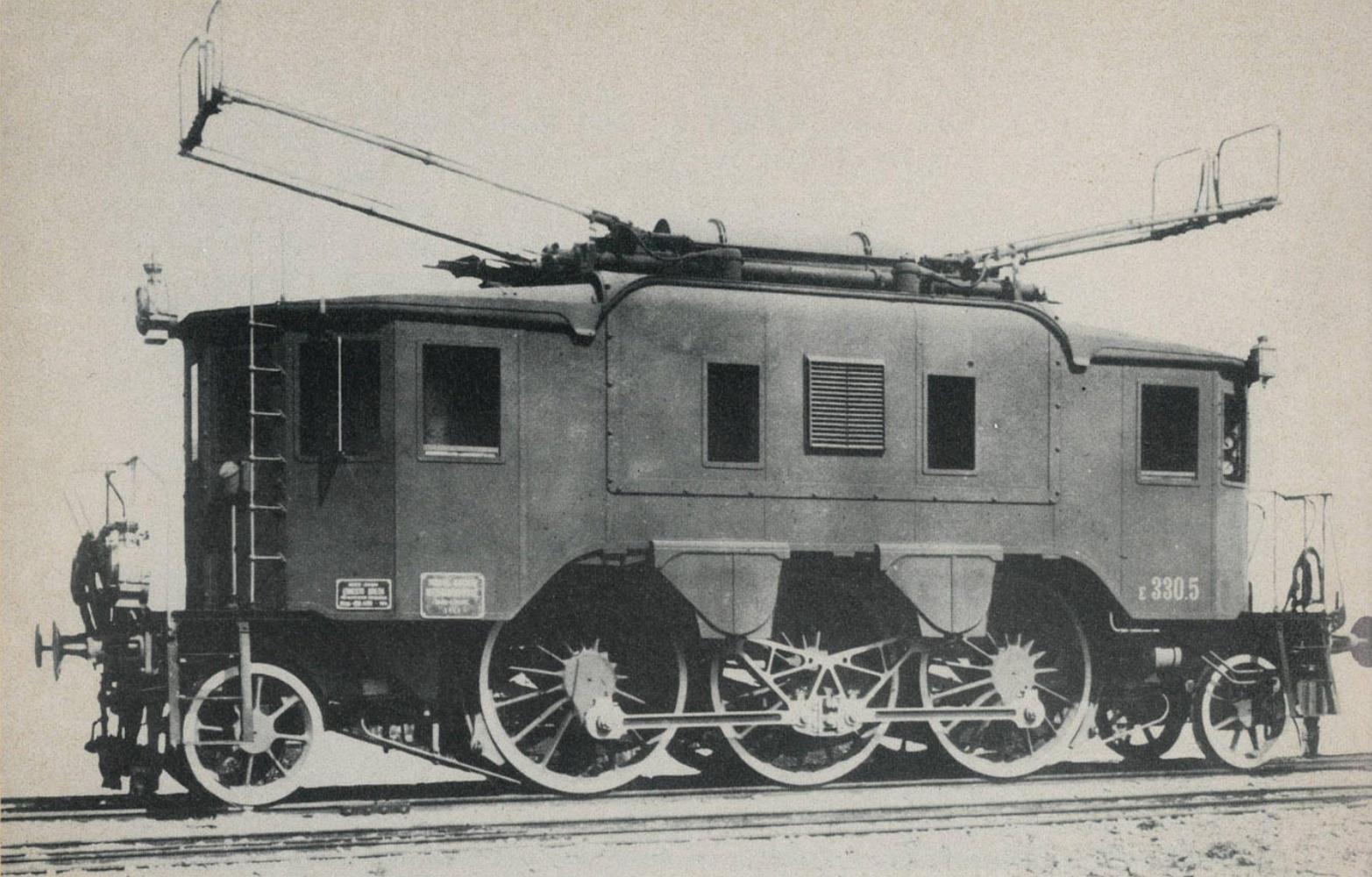
all'industria tradizionale. D'altra parte le FS, nel sostenere il loro piano di elettrificazioni, potevano mettere innanzi sia la forte superiorità tecnica delle locomotive elettriche, resa evidente in modo clamoroso dal confronto sui Giovi, sia l'ingente quantità di carbone necessario per le locomotive a vapore, che costituiva un peso rilevante per la nostra economia: le locomotive a vapore italiane consumavano complessivamente circa due milioni di tonnellate di carbone all'anno (1911), che doveva essere importato totalmente dall'estero.

Ancora una volta lungimirante appare la condotta delle FS che, dopo aver lasciato spazio alla Westinghouse per alcuni anni, vollero coinvolgere nella costruzione di locomotive elettriche anche le industrie tradizionali, creando le premesse per una produzione nazionale che dopo la grande guerra poté essere realmente attuata.

Delle tre maggiori industrie meccaniche italiane del tempo, Ansaldo, OM e Breda, quest'ultima ap-

pariva la più vulnerabile di fronte allo sviluppo della trazione elettrica, sia perchè economicamente era la meno robusta, sia perchè fra le proprie attività la produzione di locomotive a vapore aveva una parte di maggiore rilievo. La Breda era l'industria meccanica di più lunga tradizione in Italia: la sua fondazione risaliva al 1846, quindi precedeva anche l'Ansaldo. Con la Breda le FS intrapresero un rapporto di collaborazione, che divenne particolarmente proficuo negli anni venti, quando l'Ufficio Studi FS di Firenze incominciò a progettare le proprie locomotive elettriche e la Breda ne eseguiva la costruzione. Nella tabella D sono riassunte le ordinazioni di nuove locomotive elettriche effettuate dalle FS negli anni 1913-14; alla Breda sono assegnate otto E.330 e dieci E.331, naturalmente solo per la parte meccanica, dato che in quel tempo la ditta milanese in campo elettrotecnico era ancora una nullità. (Nella valutazione della tabella D si tenga conto che la società Costruzioni Meccaniche Saronno era la filiazione di una ditta tedesca (Esslingen) e che le locomotive di sua pertinenza avevano la parte elettrica di progettazione e costruzione interamente straniera, brevettata; il TIBB di Milano d'altra parte era strettamente collegato alla Brown Boveri svizzera).

Possiamo supporre che l'abbinamento con la Breda, nella fornitura di otto E.330, sia stato alquanto mal digerito a Vado Ligure, dato che la



Due immagini dell'E.330.005 simili ma...
non uguali (vedi il testo),
prese entrambe nello stabilimento Westinghouse
di Vado Ligure, verso ottobre 1914
(foto Breda e TIBB)

Westinghouse, pur detenendo tutti i brevetti di questa macchina di estrema avanguardia, si vedeva costretta a spartire la torta con l'antica casa milanese, la quale per giunta aveva tutto l'interesse a manovrare dietro le quinte per frenare i programmi di elettrificazione delle ferrovie italiane. Non sappiamo quali argomentazioni le FS abbiano usato per convincere la Westinghouse ad accettare la divisione della fornitura, ma certo questo accoppiamento Westinghouse — Breda appare come un matrimonio fra cane e gatto. Naturalmente nei documenti d'epoca ufficiali non si trova alcuna prova che le cose stessero realmente in questi termini; però forse, fortunatamente, abbiamo una prova... fotografica!

Osserviamo le due fotografie a pag. 40. Sono state prese entro il recinto dello stabilimento Westinghouse di Vado Ligure in una bella mattinata d'autunno del 1914 e mostrano entrambe la medesima locomotiva E.330.005, circa con la stessa angolazione; però la posizione delle ombre è diversa e non occorre essere esperti astronomi per calcolare grossolanamente il tempo che intercorre fra un'immagine e l'altra: a conti fatti risulta un intervallo di tempo di circa due ore.

Due ore per prendere una fotografia! Anche tenendo conto della macchinosità degli apparecchi fotografici dell'epoca, due ore per una fotografia sono un tempo enorme. Deve essere accaduto qualcosa. E infatti vediamo che nella seconda fotografia (in basso) la targa «Breda» della locomotiva è scomparsa! Dopo la presa della prima fotografia qualcuno deve essersi accorto che la targa «Breda» sarebbe rimasta immortalata nelle immagini proprio fianco a fianco di quella «Westinghouse», e questo dava fastidio... Perciò le riprese fotografiche vennero interrotte, affinché la targa della casa milanese fosse tolta di mezzo (e naturalmente rimontata al suo posto a riprese fotografiche ultimate).

Non occorrono due ore nemmeno per smontare una targa, ma la locomotiva era stata colorita in grigio per esigenze fotografiche: togliendo la targa restava un riquadro nero, che avrebbe fatto la spia del "misfatto". Perciò, tolta la targa, bisognava chiamare l'operaio verniciatore perchè eseguisse il rappezzo, poi alcune decine di minuti ad essiccare al sole, quanto bastava perchè la tinta grigia opaca perdesse la brillantezza, ed ecco passate le nostre due ore... Da allora ad oggi le fotografie ufficiali dell'E.330.005 sono state pubblicate su libri e riviste varie volte e probabilmente nessuno si è mai accorto di nulla: il "falso storico" compiuto dalla Westinghouse in quel giorno d'autunno del 1914 si può considerare riuscito alla perfezione.

Le targhe dell'E.330 meritano di essere osservate ancora per considerazioni d'altro genere. Nelle me-

Tabella D

ORDINAZIONI DEL 1912 - 13
(locomotive elettriche)

anno di ordinazione	costruttore	quantità	rodiggio	gruppo	classificazione (*)	classificazione finale	anno di immissione in servizio
1912	Westinghouse	16 (2)	1'C1'	030	0301-03016	E.330.001-016	1914
1913	TIBB	18 (3)	2'C2'	033	0331-03318	E.331.001-018	1916-20
1913	C.M. Saronno	6 (4)	2'C2'	034	0341-0346	E.332.001-006	1917
1912	Westinghouse	45	E	050	05041-05085	E.550.041-085	1913-14
1913	Westinghouse	25	E	050	05086-050110	E.550.086-110	1914-15
1913	C.M. Saronno	12	E	051	0511-05112	(E.551.1-12)	(5)

(*) classificazione d'origine, mantenuta fino alla primavera 1914 - (2) di cui 8 con parte meccanica Breda - (3) con parte meccanica Breda per 10 unità e OM per le rimanenti 8 - (4) con parte elettrica Oerlikon - (5) ordinate ma non costruite, il contratto di fornitura essendo stato rescisso nel 1914 per l'impossibilità del costruttore di rispettare i termini di consegna (queste locomotive non hanno alcuna relazione con le omonime E.551 immesse in servizio dal 1921 in poi).



I sottoscritti:

Sig. Ing. Cav. Uff. Pietro VEROLE -Capo Divisione-

" " Emidio FACILLI -Ispettore Principale-

a ciò debitamente delegati dall'Amministrazione delle Ferrovie dello Stato dichiarano che nel Deposito T.E. di Lecco hanno visitato il locomotore anzidetto ed hanno accertato che porta il numero d'ordine E.330.5.- I sottoscritti, eseguite con esito soddisfacente sulle linee Monza-Lecco le prove e verifiche occorrenti, constatarono che il detto locomotore corrisponde alle prescrizioni stabilite dal relativo capitolato.

Dichiarano perciò accettato e collaudato il locomotore anzidetto a sensi del contratto e del capitolato che regolano la fornitura; salvo gli eventuali addebiti che risulteranno durante il periodo di garanzia.

Fatto in doppio originale a Lecco li 4 ottobre 1915

GLI INGEGNERI

IL COSTRUTTORE

Incaricati del collaudo *fini. Campanari*

fini. Verole
fini. Facilli

desime fotografie dell'E.330.005 fissiamo l'attenzione sulla targa «Westinghouse»: è in posizione infelice a dir poco, dal lato estetico, fissata com'è proprio sul bordo inferiore della cassa. Infatti il progetto prevedeva una posizione diversa, più in alto, come si vede nella fotografia della prima locomotiva costruita, E.330.009, unica ad avere la targa nella posizione di progetto. Ma c'era un inconveniente. Lo stelo delle viti di fissaggio, passanti all'interno della cabina, andava ad interferire con il telaio del finestrino, scorrevole verticalmente, impedendone l'abbassamento completo. Sull'E.330.009 si risolse l'inconveniente montando le targhe, mediante viti ribattute, su appositi rettangoli di lamiera di larghezza maggiore del finestrino, fissati poi alla cassa della locomotiva mediante viti passanti. Ma era un sistema macchinoso e su tutte le altre locomotive la targa è stata fissata in basso nella posizione che abbiamo visto, brutta ma comoda.

Tutte le E.330 sono state montate a Vado Ligure, prima le otto fornite interamente dalla Westinghouse (E.330.009—016) e poi le otto con meccanica Breda (E.330.001—008). Le locomotive venivano consegnate alle FS nella stazione di Savona L'Imbro e da qui venivano trasferite a Genova nel deposito del Campasso, dove eseguivano le prime



prove. Infine per il collaudo definitivo venivano trasferite a Lecco, dato che le condizioni di acclività delle poche linee trifasi esistenti in Liguria nel 1914 non consentivano l'esecuzione delle prove prescritte (vedi *iF* 225). Nella tabella E sono indicate le date di consegna alle FS di ciascuna locomotiva.

Conclusione

Con l'uscita delle sedici E.330 dai cancelli dello stabilimento Westinghouse di Vado Ligure la nascita è compiuta e questo scritto si conclude. Le vicende successive sarebbero interessanti ma non particolarmente brillanti. In estrema sintesi dirò che le E.330 nell'esercizio pratico hanno scontato l'eccessiva ricerca della leggerezza, perseguita dai progettisti fino all'esasperazione. Nel 1914 la Westinghouse poteva vantarsi di aver creato una locomotiva che, quanto a potenza specifica (rapporto potenza/massa), non aveva uguali al mondo: ma questo primato a quale prezzo era stato ottenuto!

Il reostato, insufficientemente dimensionato, impediva di svolgere un servizio che comprendesse fermate molto frequenti; e il telaio, anch'esso inadeguato alla potenza dei motori, quando veniva sottoposto a sforzi intensi e ripetuti tendeva lette-

Panoramica del deposito locomotive di Lecco con le locomotive E.330.010, 011, 015, 003 e 006 (da destra a sinistra), anno probabilmente 1915 (foto TIBB)

Pagina opposta in basso: verbale definitivo di collaudo della locomotiva E.330.005, firmato dagli ingegneri Verole e Pacilli delle FS e Campanari della società Westinghouse

ralmente a sfasciarsi. Lo snervamento dei chiodi del telaio alterava la geometria dell'insieme, col risultato di frequenti surriscaldamenti dei cuscinetti e, nei casi estremi, scalettamenti e rotture delle manovelle motrici. Naturalmente si adottarono rimedi per questi inconvenienti; ma l'insufficiente robustezza è sempre rimasta il principale punto debole dell'E.330.

Le debolezze dell'E.330 però, per quanto pesanti sul piano pratico, dipendevano da una causa tutto sommato marginale, cioè un difetto di dimensionamento, che non intaccava la validità dello schema generale della macchina. La grande novità dell'E.330 era la presenza di quattro velocità di regime con pieno sfruttamento dei motori a ognuna

*Diverse locomotive trifasi costruite negli anni venti
derivano dall'E.330: oltre alle E.431
(foto in retro copertina)
erano fondate sul sistema Milch le locomotive
a frequenza industriale E.470
(pagina opposta in alto l'E.470.001 - foto TIBB);
le locomotive E.333 hanno preso dall'E.330
il rodiggio e la trasmissione
(in basso l'E.333.037 - foto FS)*



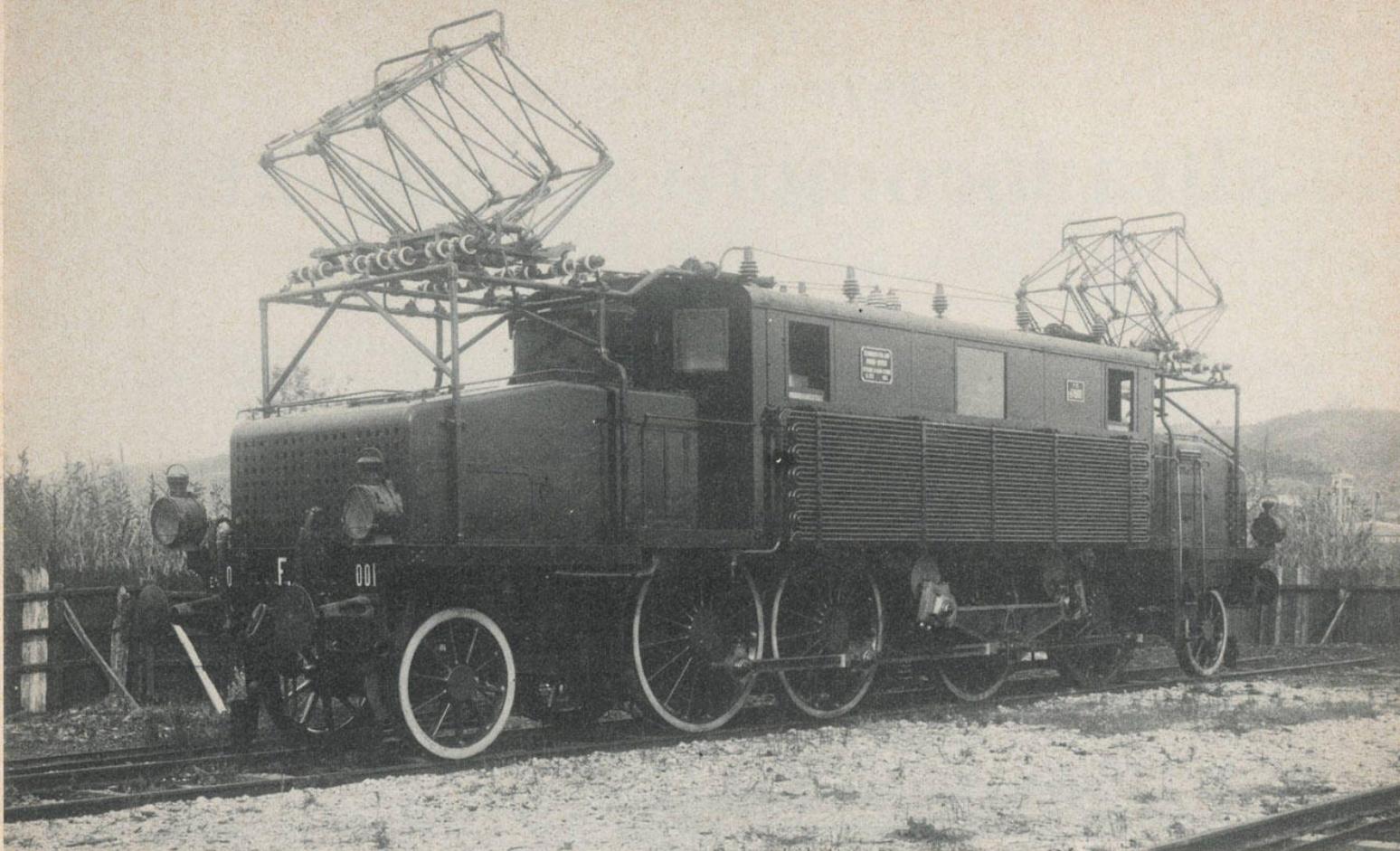


Tabella E

CRONOLOGIA

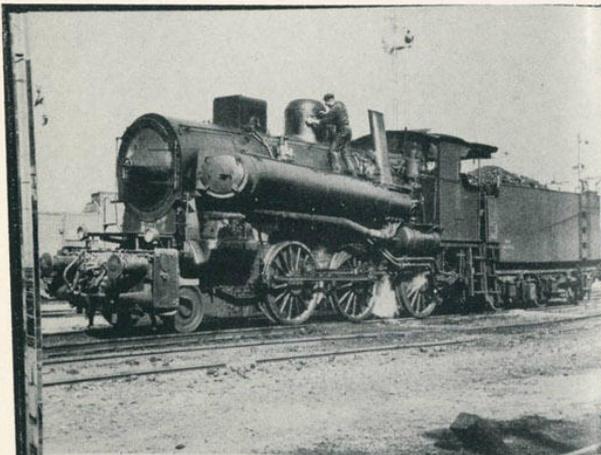
locomotiva	data di consegna alle FS	data di demolizione
E.330.001	29 settembre 1914	aprile 1965
E.330.002	ottobre 1914	dicembre 1947
E.330.003	ottobre 1914	aprile 1965
E.330.004	ottobre 1914	luglio 1948
E.330.005	31 ottobre 1914	aprile 1965
E.330.006	16 novembre 1914	aprile 1965
E.330.007	23 novembre 1914	marzo 1965
E.330.008	dicembre 1914	(al museo)
E.330.009	agosto 1914	ottobre 1945
E.330.010	agosto 1914	maggio 1965
E.330.011	agosto 1914	aprile 1965
E.330.012	agosto 1914	marzo 1965
E.330.013	5 settembre 1914	aprile 1965
E.330.014	12 settembre 1914	marzo 1965
E.330.015	settembre 1914	maggio 1965
E.330.016	ottobre 1914	maggio 1965

Le locomotive E.330 sono state costruite in esecuzione della deliberazione del Consiglio d'Amministrazione FS del 14 agosto 1912 e del successivo contratto formale di fornitura stipulato fra FS e Società Italiana Westinghouse l'8 febbraio 1913. La locomotiva E.330.009, prima costruita, ha iniziato le corse di prova nella primavera 1914.

di esse e in questo la locomotiva si deve considerare riuscita. Lo schema Stern-Milch manifestava bensì una marcata debolezza alla seconda velocità (50 km/h), cioè una deficienza di coppia motrice dei motori e quindi di forza di trazione della locomotiva (vedi la tabella A su *iF* 225), ma bisogna considerare che ormai eravamo al limite delle possibilità del sistema trifase: di fatto anche dopo l'E.330 nessuno è mai riuscito a creare una locomotiva trifase a quattro velocità che abbia fornito risultati completamente soddisfacenti a tutte e quattro.

Nella prima metà degli anni venti l'E.330 è stata variamente presa a modello per la realizzazione di nuove locomotive. Il suo schema elettrico fondamentale è stato ripetuto pressochè integralmente sulle ben note locomotive E.431 e, limitatamente alla schema Milch, anche sulle E.470 a frequenza industriale. D'altra parte le locomotive E.333 hanno ripreso dall'E.330 in forma quasi inalterata il rodiggio e la trasmissione.

Perciò nella storia della trazione trifase la locomotiva E.330 occupa una posizione cardine, costituendo insieme un punto di arrivo per la soluzione del problema della velocità e un punto di partenza per la realizzazione della maggior parte delle locomotive elettriche veloci degli anni venti. Essa merita a buon diritto di essere annoverata fra le grandi locomotive "storiche" della trazione elettrica.



23 - Più modello in 823, già 825, motore
 comunque modo di parti varie sulle linee del
 Veneto e del Trentino-Alto Adige e con l'arrivo
 elettrico, nel maggio 1963, con
 distribuzione a spina Caprotti, sono al
 deposito di Mestre.

24 - È la 823.007 con distribuzione
 elettrica, locomotiva numero di Trento in
 stazione di Rovereto con un locati per Firenze.

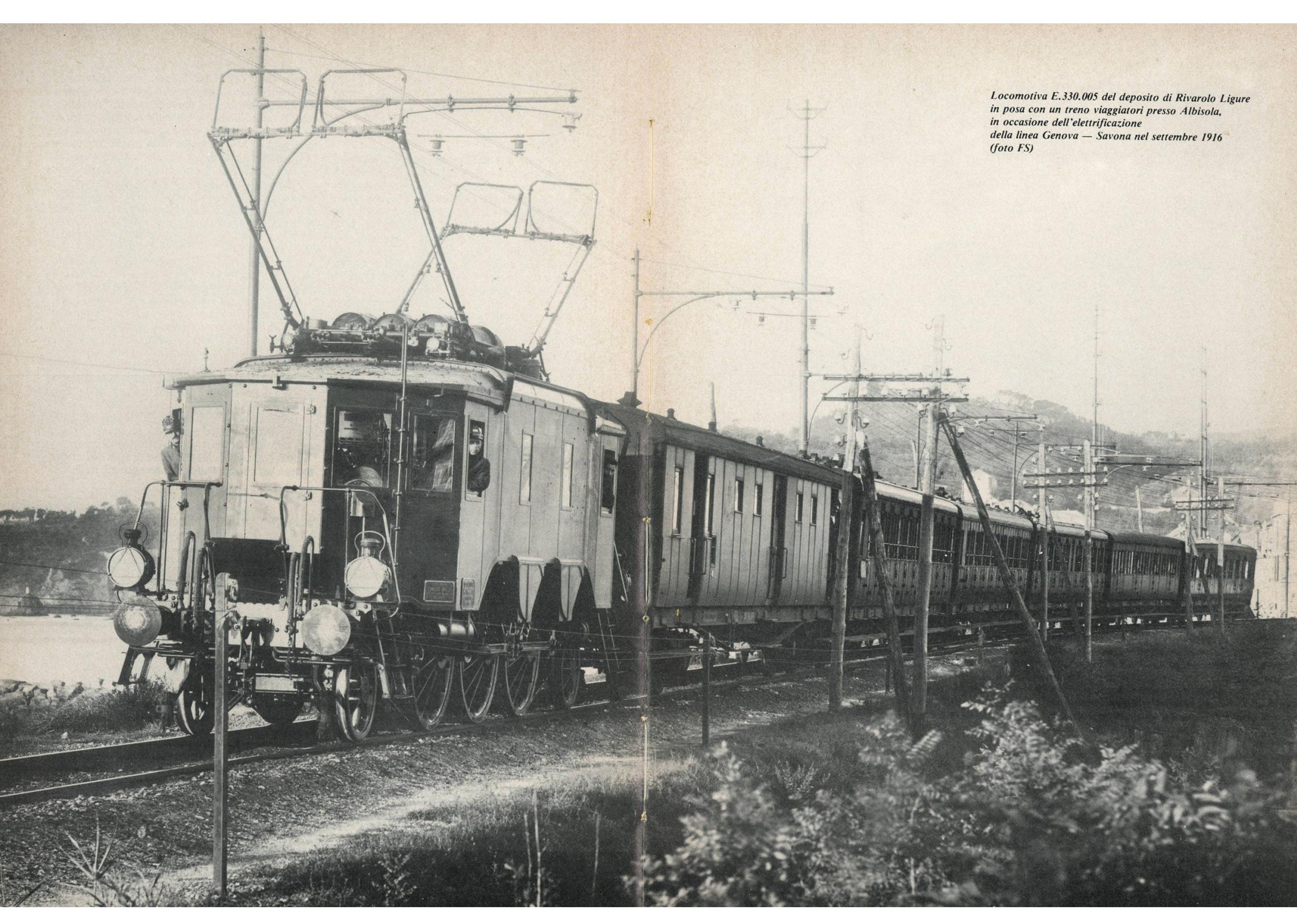


Addio al vapore Italiano

Una eccezionale,
 inedita documentazione
 a ricordo
 della ferrovia a vapore



Ricordi di ferro,
 di carbone, di fumo, di vapore,
 di sudore e fatica, in una
 eccezionale documentazione
 edita dalla Modeltecnica.
 «ADDIO AL VAPORE ITALIANO»,
 un doveroso ricordo
 della ferrovia a vapore italiana.



*Locomotiva E.330.005 del deposito di Rivarolo Ligure
in posa con un treno viaggiatori presso Albisola,
in occasione dell'elettificazione
della linea Genova — Savona nel settembre 1916
(foto FS)*