

Storia dei treni a Verona

L'Officina ferroviaria di Verona Porta Vescovo

Dall'elettrotecnica all'elettronica di potenza

I mezzi di trazione a regolazione tradizionale o “elettrotecnica”

I mezzi di trazione a regolazione tradizionale o “elettrotecnica” sono stati per decenni gli unici possibili, alla luce dei grandi valori di tensioni, correnti e conseguentemente delle potenze in gioco.

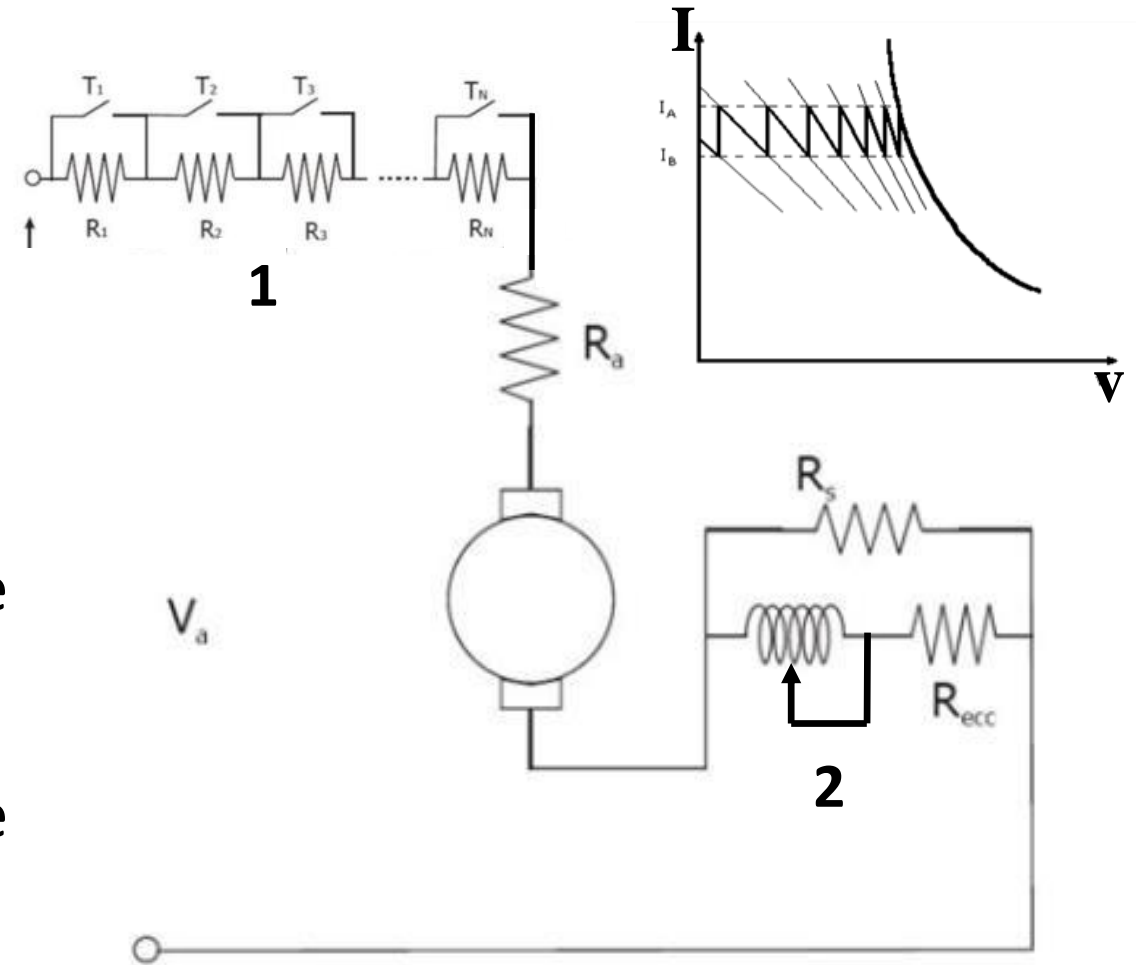
I **motori di trazione** principalmente adoperati sono stati quindi quelli che ammettevano una agevole regolazione delle velocità e delle coppie, quindi quelli **in corrente continua a eccitazione in serie** e parimenti quelli **a corrente alternata monofase a collettore**.

Il **motore trifase asincrono** era stato adoperato, non senza molte criticità, nel solo sistema trifase italiano.

I mezzi di trazione a regolazione tradizionale o “elettrotecnica”: motori di trazione in corrente continua

La regolazione dei motori a collettore, a corrente continua eccitazione in serie e monofase, può avvenire solo tramite una variazione di tensione di alimentazione ed in ogni caso in forme discontinue mediante “gradini”:

- 1) Regolazione della velocità tramite abbassamento del valore della resistenza
- 2) Regolazione della velocità tramite indebolimento di campo ovvero shuntaggio = esclusione di spire

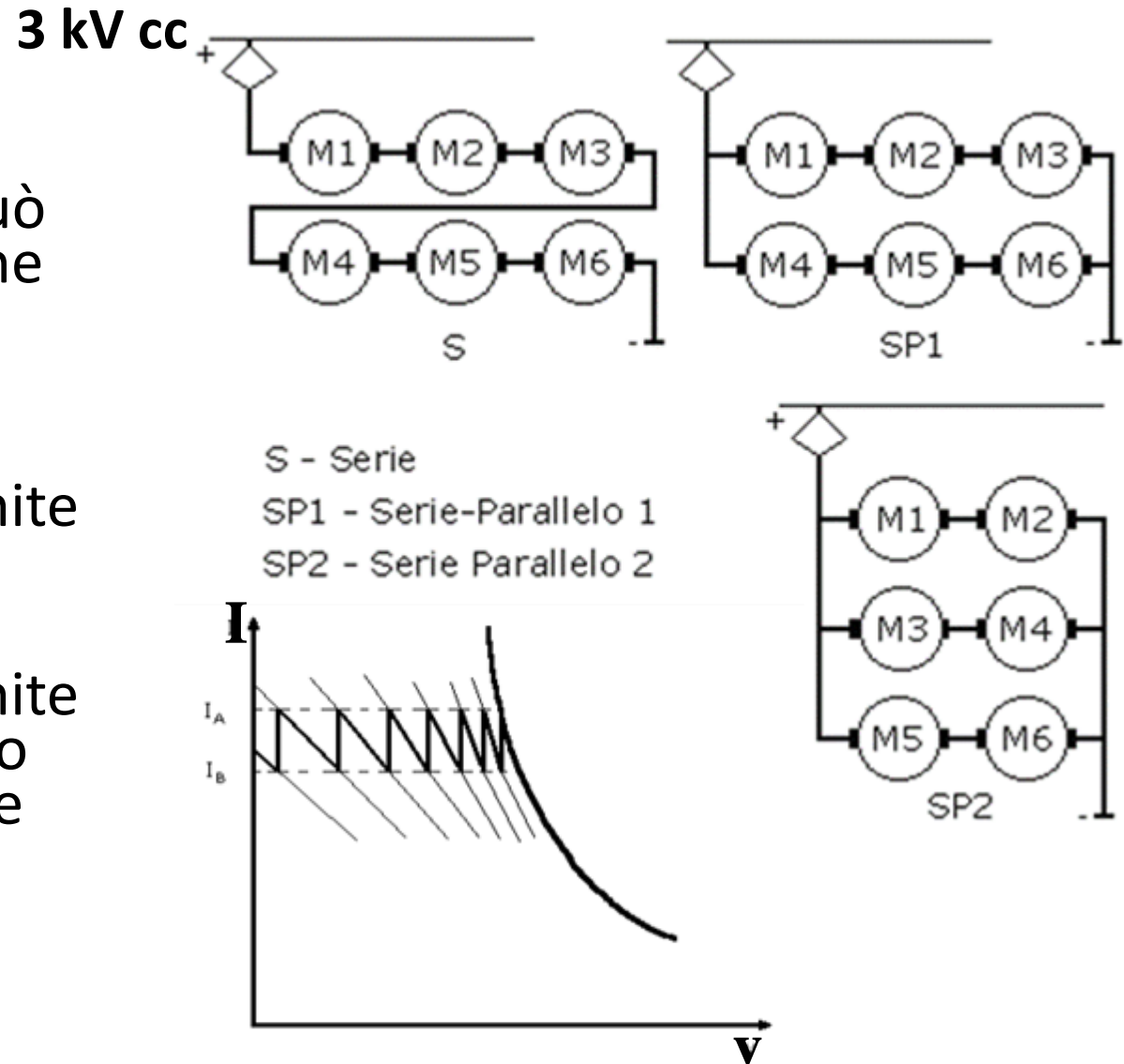


I mezzi di trazione a regolazione tradizionale o “elettrotecnica”: motori di trazione in corrente continua

La regolazione dei motori a collettore, a corrente continua eccitazione in serie e monofase, può avvenire solo tramite una variazione di tensione di alimentazione ed in ogni caso in forme discontinue mediante “gradini”:

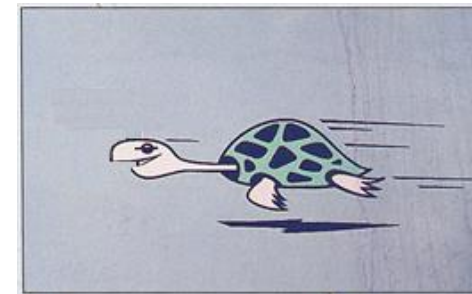
1. Regolazione della velocità tramite abbassamento del valore della resistenza
2. Regolazione della velocità tramite indebolimento di campo ovvero shuntaggio = esclusione di spire

in caso di alto numero dei motori, tramite collegamenti reciproci.



La locomotiva elettrica E.444.001 Tartaruga

Soprannominata «La tartaruga» in contrapposizione con le elevate doti velocistiche della macchina



Intorno alla metà degli anni sessanta il Giappone stava stupendo il mondo con lo Shinkansen, mentre i francesi cominciarono a muovere i primi passi con il loro programma TGV.

Mancavano tuttavia nelle ferrovie italiane le locomotive in grado di raggiungere e superare il muro dei **140 km/h** con carrozze viaggiatori.

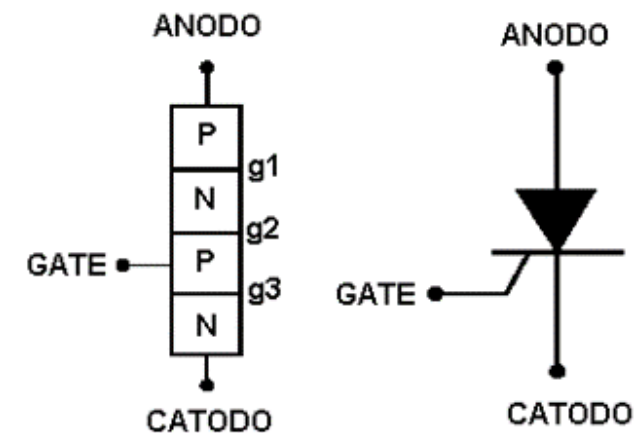
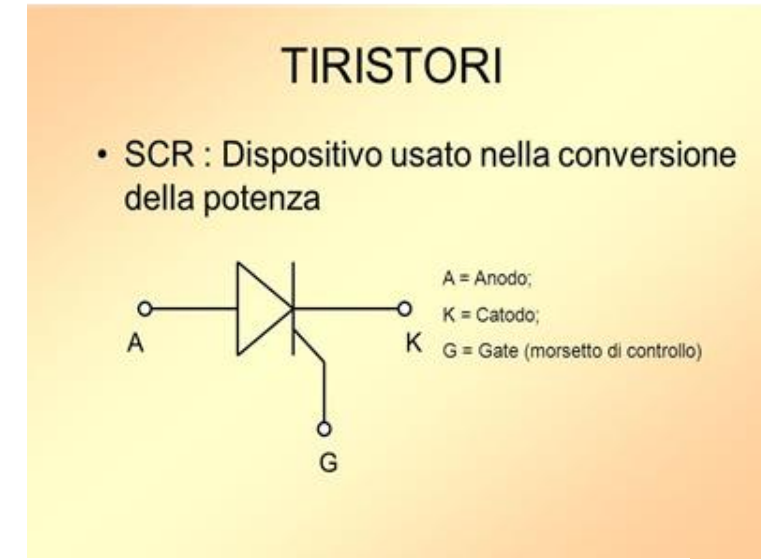
Nel 1964 l'Ufficio studi locomotive elettriche del Servizio Materiale e Trazione FS sviluppò un nuovo progetto di locomotiva di elevata potenza ma soprattutto di elevate prestazioni velocistiche.

Il primo prototipo, la E.444.001 venne consegnata nel luglio del 1967 e fu subito oggetto di prove e sperimentazioni. Il prototipo 001 venne inviato a Copenaghen ad una mostra ferroviaria suscitando ammirazione. In occasione del battesimo tenuto dal Presidente del Consiglio Aldo Moro e dal Ministro dei Trasporti (e futuro Presidente della Repubblica) Oscar Luigi Scalfaro, l'8 novembre 1967 ci fu il viaggio inaugurale: la E 444.001 viaggiando tra Roma e Napoli via Formia compì il suo viaggio in soli 88 minuti toccando i **207 km/h** (allora considerata alta velocità) tra le località di Campoleone e Latina.

Regolazione elettronica dei motori

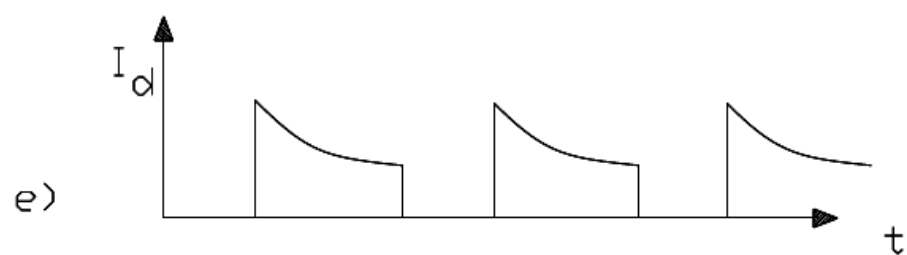
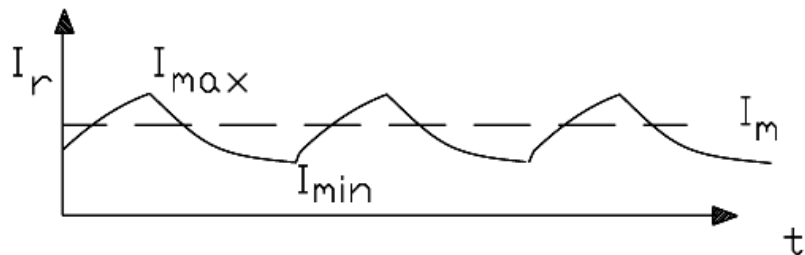
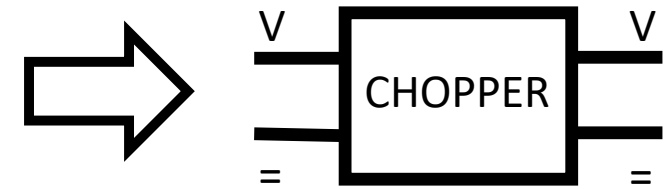
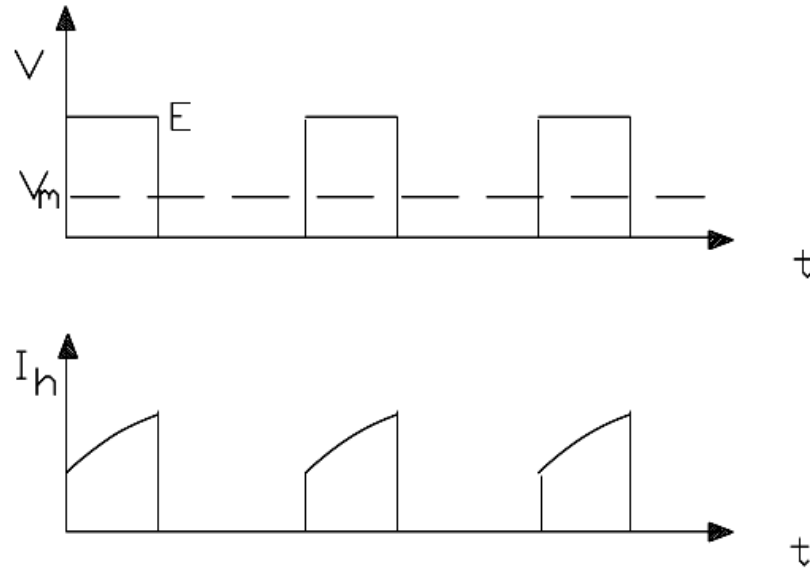
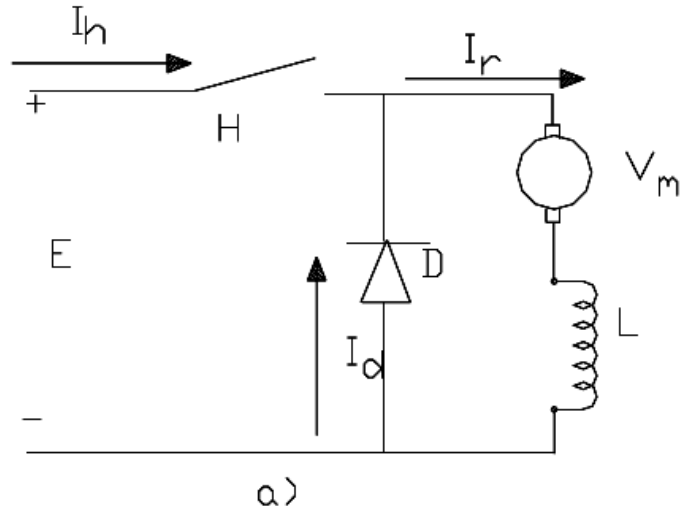
A partire dagli anni '70 del secolo scorso i progressi dell'elettronica hanno fatto sì che fosse possibile, effettuare le regolazioni tipiche dei motori elettrici, tramite variazione di tensione, non più in maniera dissipativa con resistenze ma "allo stato solido" ovvero tramite la creazione di valori parzializzati di tensione, rispetto a quella di linea, ottenuti mediante **valor medio** della stessa **tensione** ripetutamente interrotta nel tempo tramite l'uso di tiristori.

La tensione di linea viene così frazionata da un circuito chopper il cui componente principale è il diodo controllato chiamato tiristore o SCR ovvero un semiconduttore che non permette il transito di correnti al suo interno sino all'istante in cui un segnale, inviato tramite il contatto gate, lo attiva.



Principio di funzionamento di un chopper

3 kV cc



CHOPPER = convertitore di potenza che viene utilizzato per trasformare una tensione continua in una tensione continua di diverso valore



Il frazionatore elettronico o chopper è un convertitore di potenza che viene utilizzato per trasformare una tensione continua in una tensione continua di diverso valore, svolgendo cioè una funzione simile a quella del trasformatore nei circuiti a corrente alternata.

La regolazione viene effettuata chiudendo e aprendo in sequenza un interruttore elettronico allo scopo di fornire energia al carico soltanto durante l'intervallo di chiusura dello stesso, detto "**tempo di conduzione**", e di lasciarlo disconnesso dal generatore durante l'intervallo di apertura, detto "**tempo di interdizione**".

La somma del "tempo di conduzione" e del "tempo interdizione" è detta "periodo di commutazione" e il suo inverso "**frequenza di commutazione**" o "frequenza di chopping".

Il rapporto tra il "tempo di conduzione" e il "periodo di commutazione" è detto **fattore di intermittenza** o duty cycle.

La regolazione della tensione sul carico viene ottenuta mantenendo fisso il "periodo di commutazione" e variando il "tempo di conduzione", ottenendo un valore medio di tensione sul carico che è una funzione, tipicamente non lineare, del "fattore di intermittenza" (o duty cycle). Questo tipo di regolazione, che è quello maggiormente usato, è detto "**a frequenza fissa**".

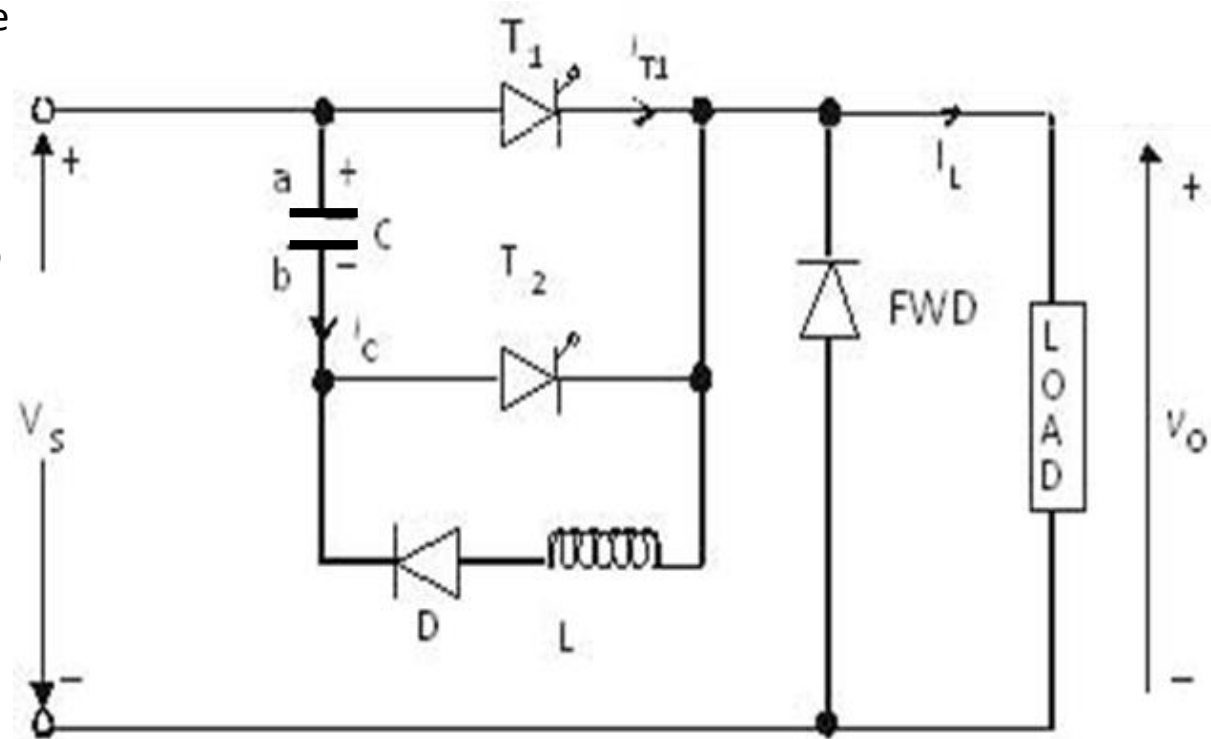
Esiste inoltre un tipo di regolazione, detto "**a frequenza variabile**", con cui viene mantenuto costante il "tempo di conduzione" e variato il "periodo di commutazione".

Regolazione dei motori elettronica: il circuito chopper

I componenti base del frazionatore elettronico sono un tiristore (sostituibile con un IGBT) in serie con il generatore di tensione e un diodo in anti-parallelo al carico; quest'ultimo deve avere necessariamente una componente induttiva. Nel caso il carico fosse puramente resistivo, o la sua induttanza troppo bassa, è necessario inserirgli un induttore in serie.

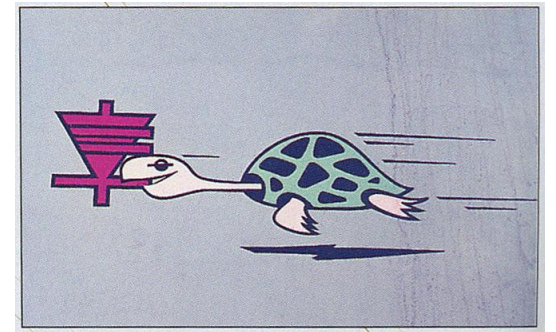
Il ciclo di funzionamento è il seguente:

- mandando in conduzione il tiristore T_1 , il carico viene alimentato alla piena tensione del generatore, provocando un passaggio di corrente che sale con una rampa la cui pendenza iniziale (detta costante di tempo) è determinata dalle componenti induttiva e resistiva del carico;
- mandando in interdizione il tiristore T_1 , tramite il circuito oscillante L D C e il tiristore T_2 , la corrente che circola nel carico (LOAD), che non può azzerarsi istantaneamente avendo una componente induttiva, si richiude attraverso il diodo in antiparallelo al carico (detto diodo volante) riducendosi progressivamente con una rampa che ha la stessa costante di tempo di quella della fase di conduzione;
- mandando nuovamente in conduzione il tiristore il ciclo riprende con la corrente che torna a fluire dal generatore al carico fino alla successiva interdizione e così via



La locomotiva elettronica E.444.005

La «Tartaruga elettronica»



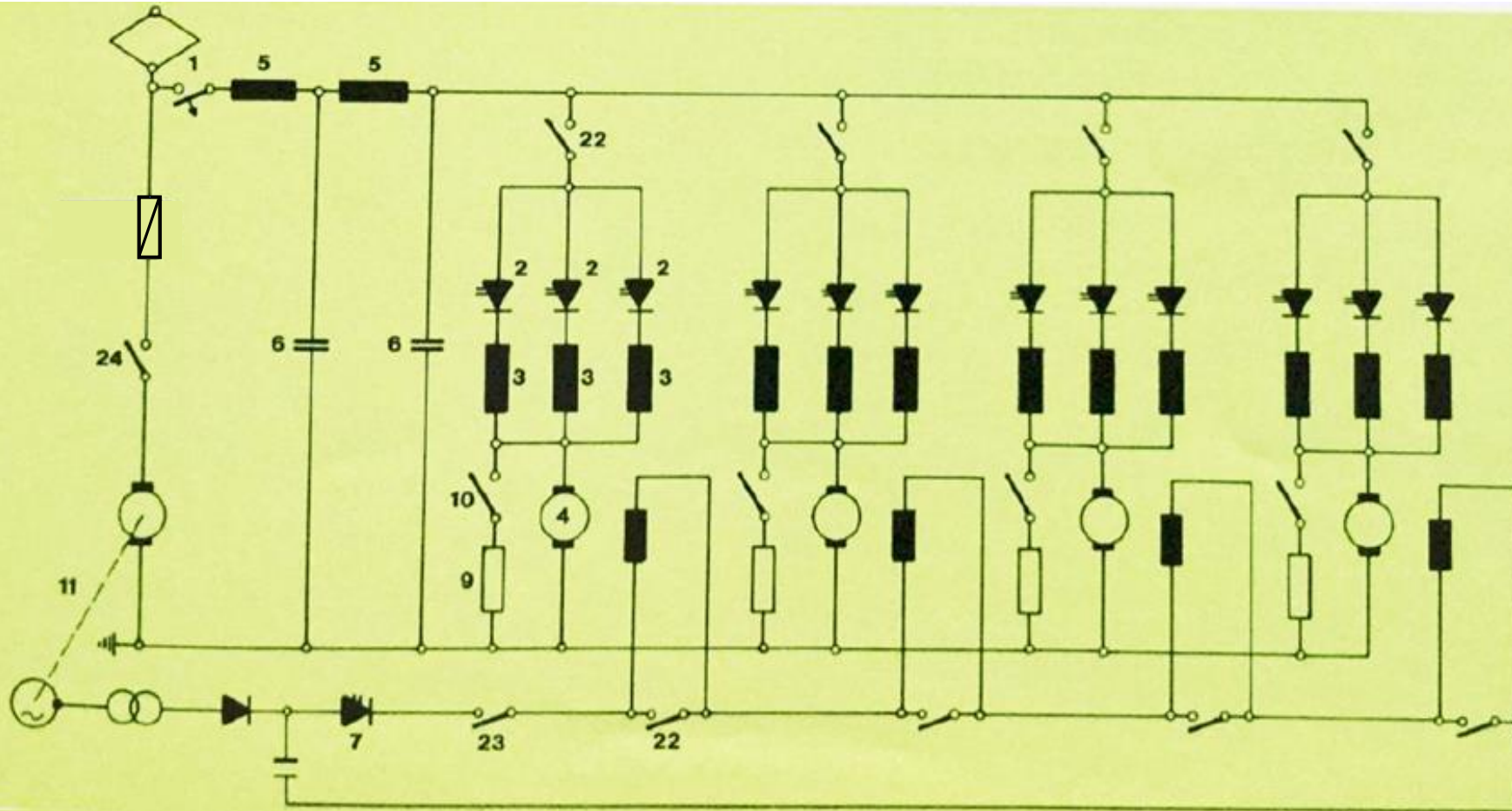
La locomotiva prototipo E.444.005 a partire dal 1975 ha iniziato i test delle nuove soluzioni elettroniche full chopper. Tali soluzioni sperimentali consentivano una migliore regolazione della potenza soprattutto nelle condizioni più critiche di aderenza traducendosi in un incremento di potenza continuativa dei motori di circa il 25%, portando la **potenza installata** alla rispettabile cifra di **5 MW**.

La particolarità della 444.005, che la differenziava da tutte le altre sorelle era quella di **alimentare ogni motore per mezzo di una singola colonna chopper in grado di variarne la tensione ai capi da 0 a 1 800 V**. I motori di trazione avevano inoltre l'**eccitazione indipendente e a sua volta regolata da un chopper ausiliario** a bassa tensione in maniera proporzionale alla corrente di indotto dei motori.

Sebbene le E.444 fossero a tutti gli effetti macchine pensate per i treni veloci, fino all'attivazione dei servizi rapidi sulla Direttissima non ebbero modo di mostrare appieno le loro potenzialità rimanendo spesso relegate a linee lente e essendo messe in servizio spesso accoppiate a carrozze di vecchia concezione, non potevano raggiungere le velocità per cui erano state progettate.

Schema locomotiva elettronica E.444.005

3 kV cc 5,1 MW



- 1 Interruttore extrarapido
- 2 Apparecchiature chopper
- 3 Induttanze di livellamento
- 4 Motori di trazione in c.c.
- 5 Induttanze del filtro di rete
- 6 Condensatori del filtro di rete
- 7 Chopper eccitazione motori
- 8 Invertitore di marcia
- 9 Reostato di frenatura
- 10 Contattori di frenatura
- 11 Gruppo convertitore principale
- 12 Gruppo convertitore ausiliario
- 13 Dispositivo carica batteria
- 14 Motoventilatori per motori di trazione
- 15 Motocompressore
- 16 Tavoli di manovra
- 17 Elettronica di comando
- 18 Cortocircuitatori
- 19 Batterie di accumulatori
- 20 Quadro interruttori e relè
- 21 Filtri aria
- 22 Sezionatori escluditori motori
- 23 Contattore del circuito di eccitazione
- 24 Contattore del gruppo convertitore

Risultati della sperimentazione della E.444.005

La messa a punto della 444.005 fu molto complessa e richiese un lungo periodo di tempo, ma fornì risultati positivi.

Il nuovo azionamento, infatti, consentì di realizzare con una locomotiva a 4 assi da 84t, grazie alla migliore aderenza, prestazioni analoghe a quelle ottenibili con macchine a 6 assi da 110-120t. Su tale macchina fu sperimentata anche la frenatura reostatica, che è in grado di agire solo per velocità maggiori di 50 km/h. I reostati di frenatura erano posizionati esternamente tra i due pantografi.

Le soluzioni elettroniche full chopper sperimentate sulla E.444-005 pochi anni permisero di realizzare la prima serie di locomotive ad azionamento elettronico, le E.633 e le E.632, che differiscono per il rapporto di trasmissione e, quindi, per la velocità massima (160 km/h le E.632 e 130 km/h per le E.633). Le prime sono state progettate per il traffico viaggiatori, le seconde per il traffico merci.

Le locomotive ad azionamento elettronico E.632.001, E.633.001 e E.444.005

1983

3 kV cc



Costruttore
Prototipo Fiat - TIBB
I serie Fiat - Ansaldo, Fiat - Marelli
II serie Fiat - Ansaldo, TIBB, TIBB - Ansaldo

Le locomotive ad azionamento elettronico

E.632 e E.633 Tigre

Le E.632 ed E.633 sono state le prime locomotive di serie realizzate con azionamento elettronico dalle Ferrovie dello Stato italiane all'inizio degli anni ottanta sulla base delle esperienze maturate con la E.444.005. Le prime sono state progettate per il traffico viaggiatori (velocità massima 160 km/h), le seconde per il traffico merci (velocità massima 130 km/h).

Tali locomotive sono soprannominate "Tigri". Da esse è derivato il gruppo E.620, una versione a 4 assi usata dalle Ferrovie Nord Milano, soprannominata "Tigrotto".

Appena messe su rotaia queste motrici pagarono in affidabilità il prezzo dell'alta tecnologia: furono soggette ad una serie di guasti mai vista prima, dieci volte più frequenti delle macchine in servizio.

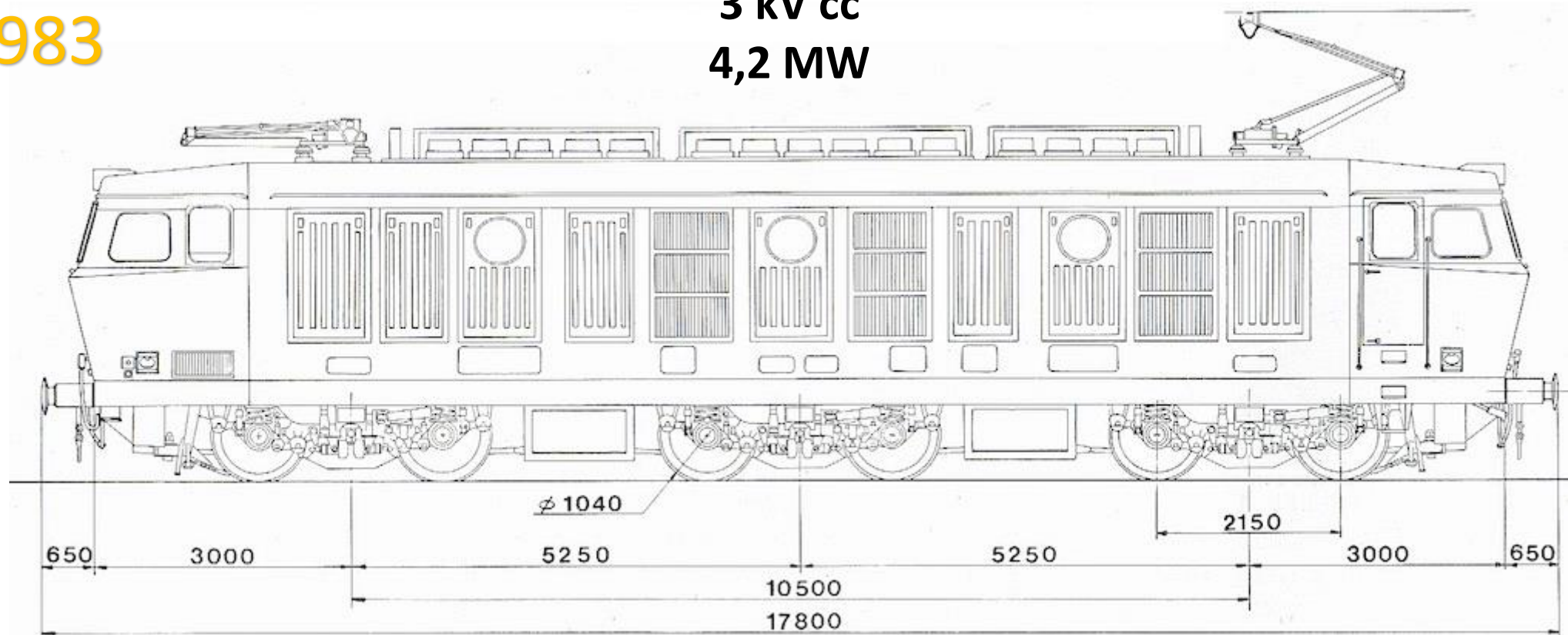
Iniziò quindi un'intensa fase di modifiche che si protrasse per oltre 5 anni. **Furono apportate più di 100 variazioni del progetto.**

In seguito al raggiungimento della loro configurazione definitiva, queste macchine si sono conquistate la fama di mezzi molto validi e affidabili.

Locomotiva ad azionamento elettronico E.633

1983

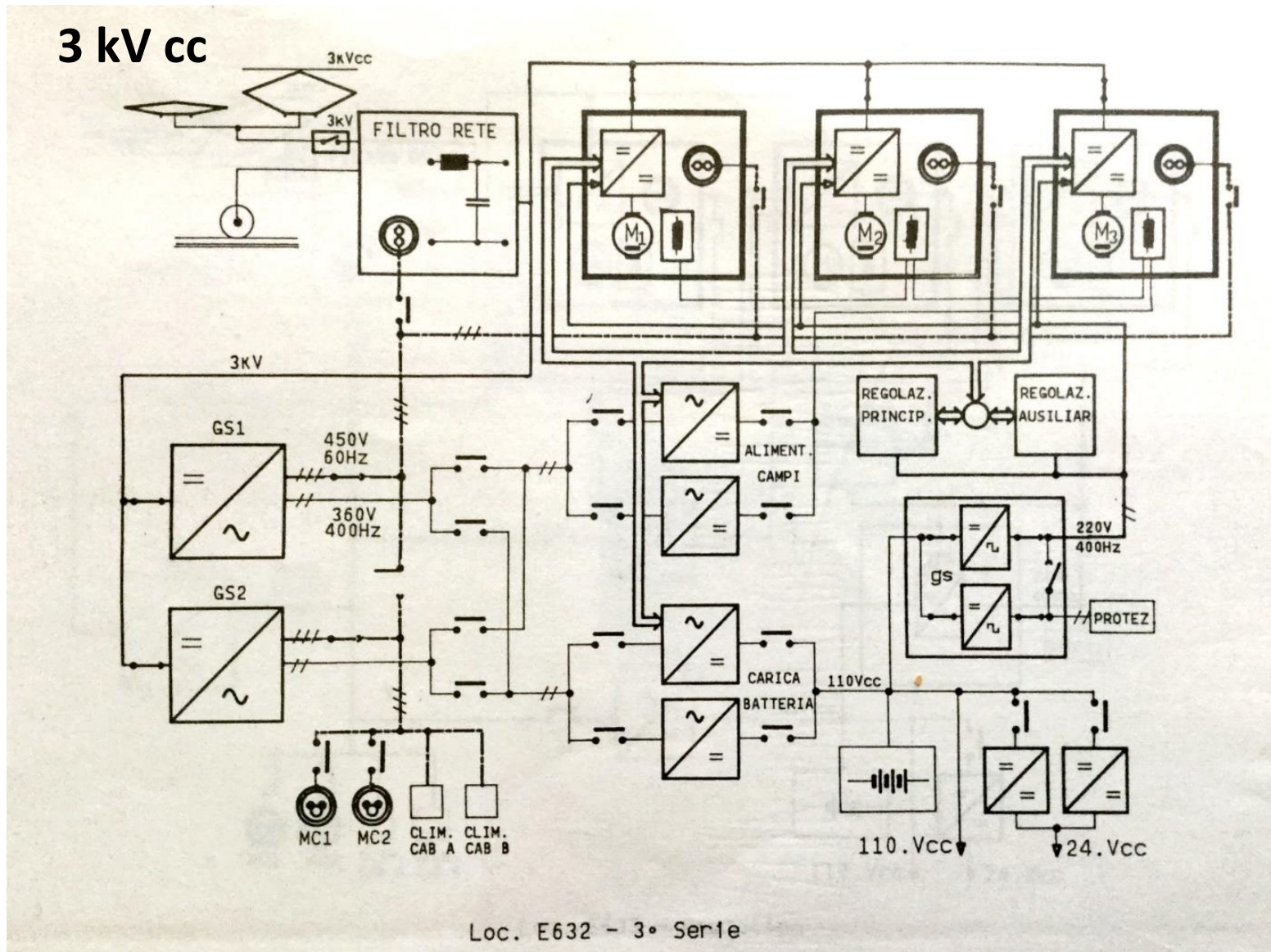
3 kV cc
4,2 MW



Le "Tigri" sono macchine potenti, dotate di tre motori modello "FS T850", da 1635 kW l'uno, montati su carrelli monomotori da due assi. Ogni motore è dotato di un proprio chopper a tre frequenze.

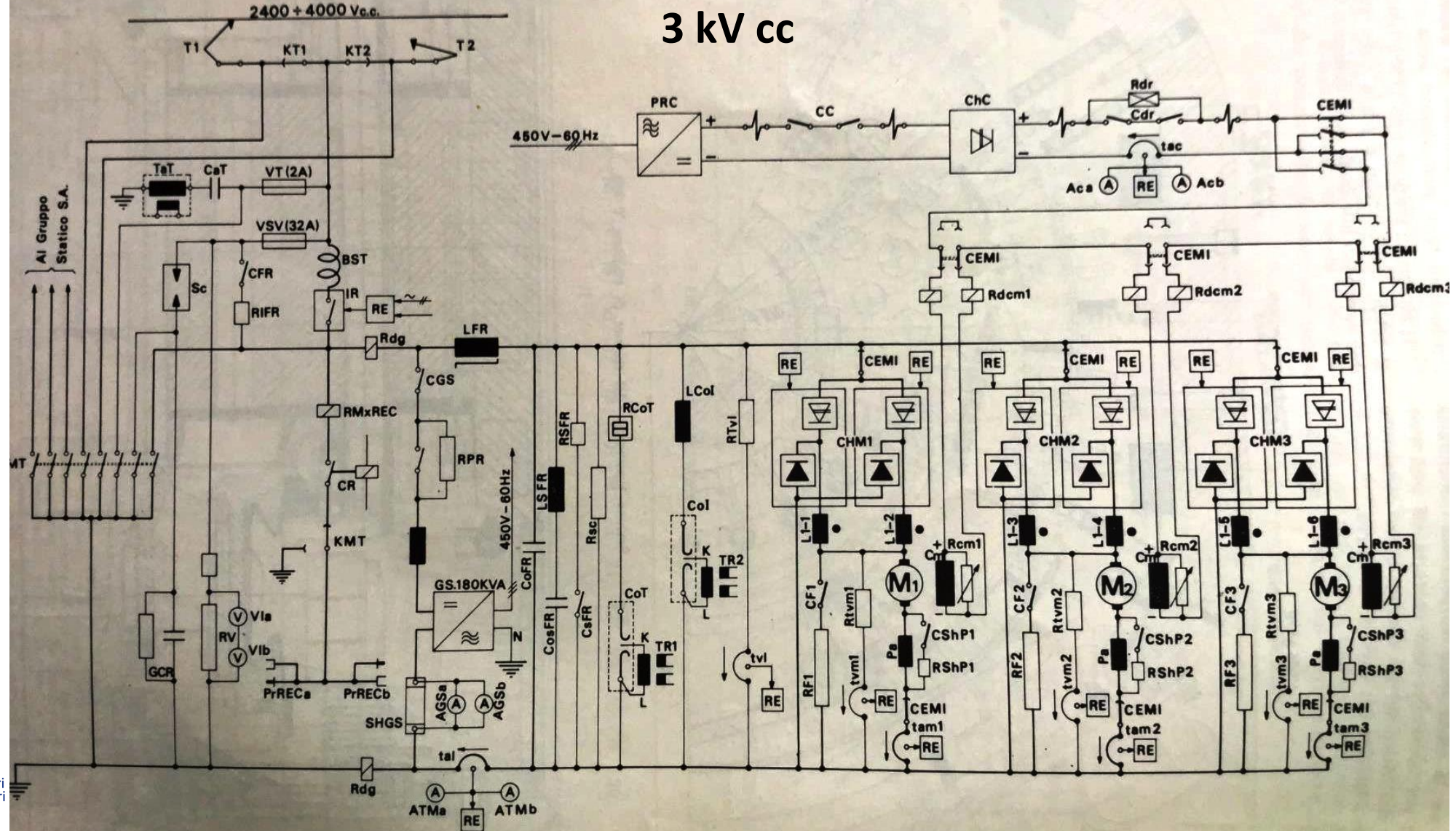
È presente l'impostazione automatica della velocità.

Schema delle locomotive ad azionamento elettronico E.632



Schema delle locomotive ad azionamento elettronico E.633

E.633 (006+)
 SCHEMA DEL CIRCUITO DI TRAZIONE



Le locomotive ad azionamento elettronico

1990

E.652

Le E.652 sono un gruppo di locomotive elettroniche costruite verso la fine degli anni ottanta per le Ferrovie dello Stato italiane, nell'ottica di un miglioramento delle caratteristiche di trazione e di affidabilità della E.632 e E.633. Dalle progenitrici hanno anche ereditato il soprannome di Tigre.

Il progetto si trasformò in breve tempo nel **progetto di una nuova locomotiva ancor più affidabile e potente** che conservando la struttura esteriore e meccanica si rivelò profondamente diversa nella parte elettrica ed elettronica.

Gli **ottimi risultati** conseguiti nell'esercizio corrente convinsero le FS ad ordinare in totale 176 locomotive E.652.

Le locomotive ad azionamento elettronico E.652

Le E.652, analogamente alle E.633/E.632, sono delle locomotive a cassa unica e a tre carrelli dotati di sospensione a molle elicoidali recanti ciascuno un motore di trazione a corrente continua del tipo T910 (6FKH 8353); questi sono la versione potenziata derivata dai T850A che erano stati montati sperimentalmente sulla E.632.043 (detta la potenziata). Tali motori sono in grado di sviluppare, ciascuno, la potenza di tutto rispetto di quasi 2 000 kW, (che corrisponde alla potenza totale di una E.626). Il controllo di potenza è ottenuto mediante sei colonne di chopper che, a coppie, alimentano i tre motori di trazione fino alla tensione massima di 2200 V.

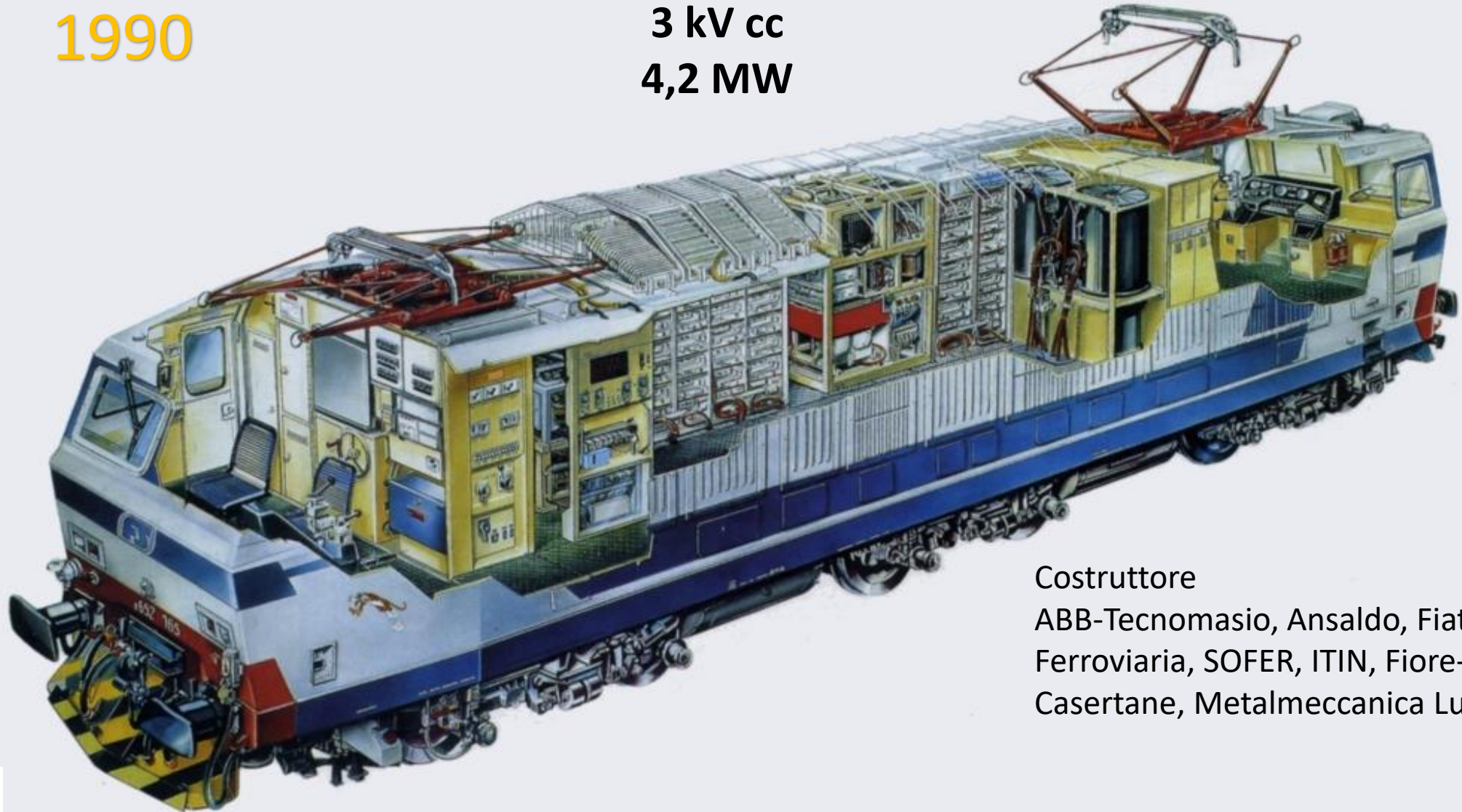
I circuiti di comando e di controllo sono stati riprogettati per una migliore funzionalità e con una ridondanza allo scopo di assicurare il funzionamento della locomotiva anche nel caso di avarie; allo stesso tempo sono stati adeguati alla tensione di sicurezza di 24 V i circuiti di comando (nelle E.632 ed E.633 sono a 110V). La logica di controllo è interamente elettronica (è stata abbandonata la vecchia logica a relè delle serie precedenti) e la diagnostica di bordo ha integrato anche funzioni prima non previste tra cui la memorizzazione di eventi per la manutenzione e la riparazione.

A partire dall'aprile del 2014 Trenitalia ha iniziato la sostituzione del rapporto di trasmissione corrente (36/64) con uno più corto (29/64), contestualmente abbassando la velocità massima delle E.652 da 160 km/h a 120 km/h. La modifica è stata decisa in quanto a oggi tutte le E.652 risultano in carico alla divisione Cargo di Trenitalia, e quindi impiegate prevalentemente alla testa di treni merci.

Locomotiva ad azionamento elettronico E.652

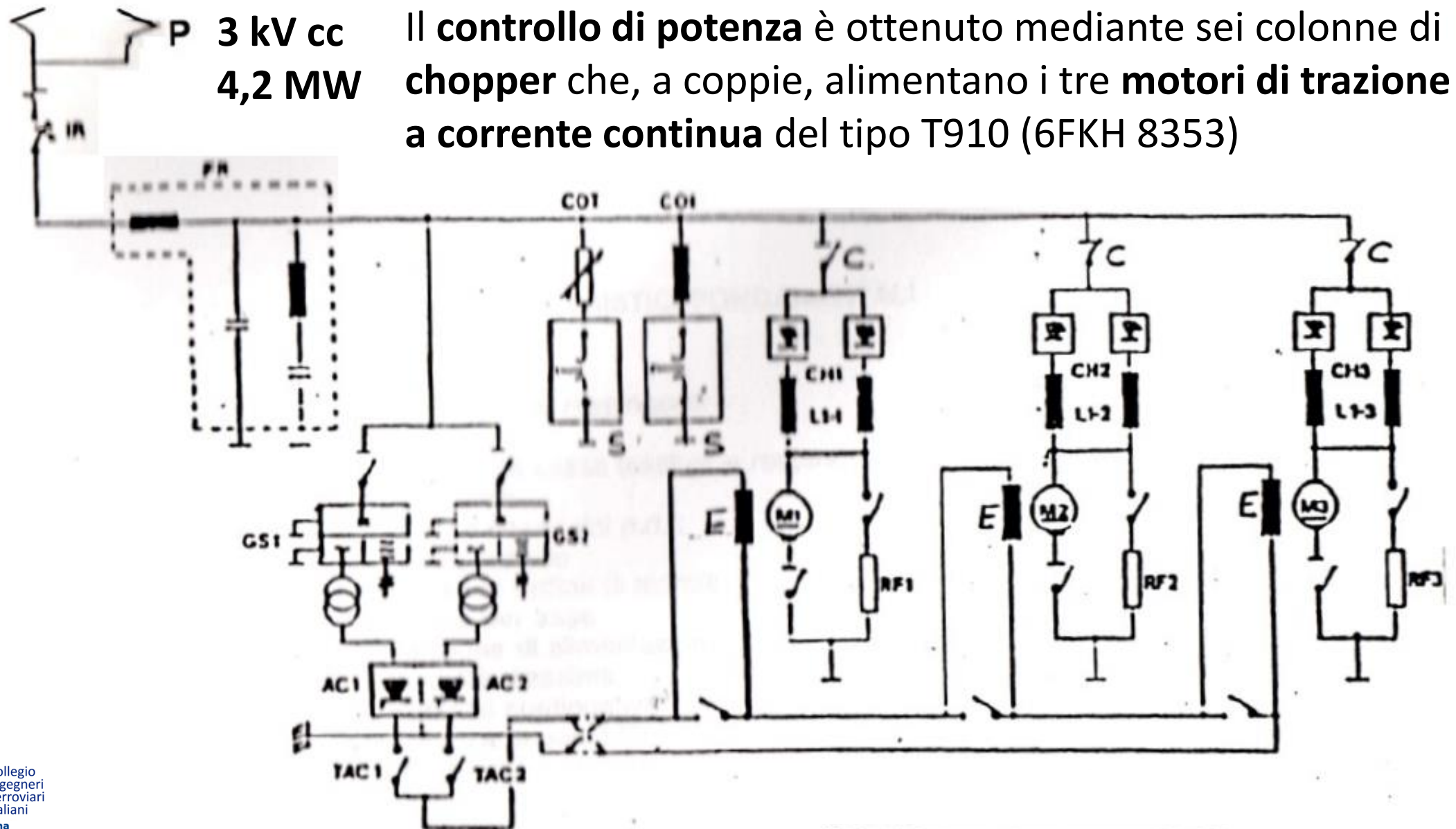
1990

3 kV cc
4,2 MW



Costruttore
ABB-Tecnomasio, Ansaldo, Fiat
Ferroviaria, SOFER, ITIN, Fiore-
Casertane, Metalmeccanica Lucana

Locomotiva ad azionamento elettronico E.652



Locomotive elettriche Italiane a 25kV c.a. 50Hz

4 motori a corrente continua tipo MTC 783/43;

Le prime locomotive costruite per circolare su linee ferroviarie alimentate a 25kV monofase sono state le **E.491/492**

(versioni rispettivamente per treni merci/viaggiatori)

3,4 MW

sono state realizzate negli anni '80 dal consorzio denominato TEAM (Trazione Elettrica Alternata Monofase), di cui facevano parte **Fiat Ferroviaria e Ansaldo Trasporti**. Nel gruppo erano presenti anche **Wabco Westinghouse Italia e Keller**.

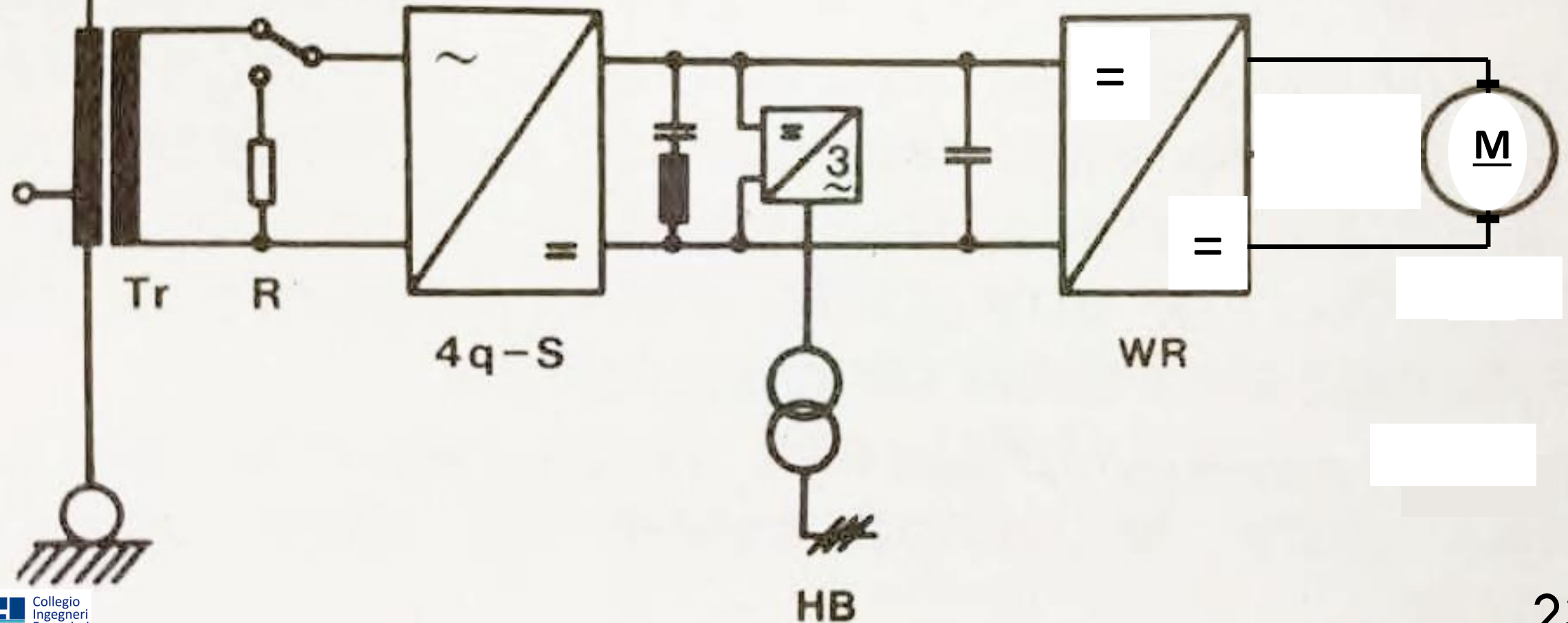
Le E.491/492 erano figlie del patrimonio di conoscenze acquisito all'estero dai costruttori e dell'esperienza derivata dal progetto delle E.632/633, praticamente contemporanee.

Tali locomotive avrebbero dovuto circolare sulla linea dorsale della Sardegna programmata per l'elettificazione a corrente alternata. A causa dell'annullamento postumo del progetto nessun mezzo dei due gruppi è mai entrato in servizio attivo.

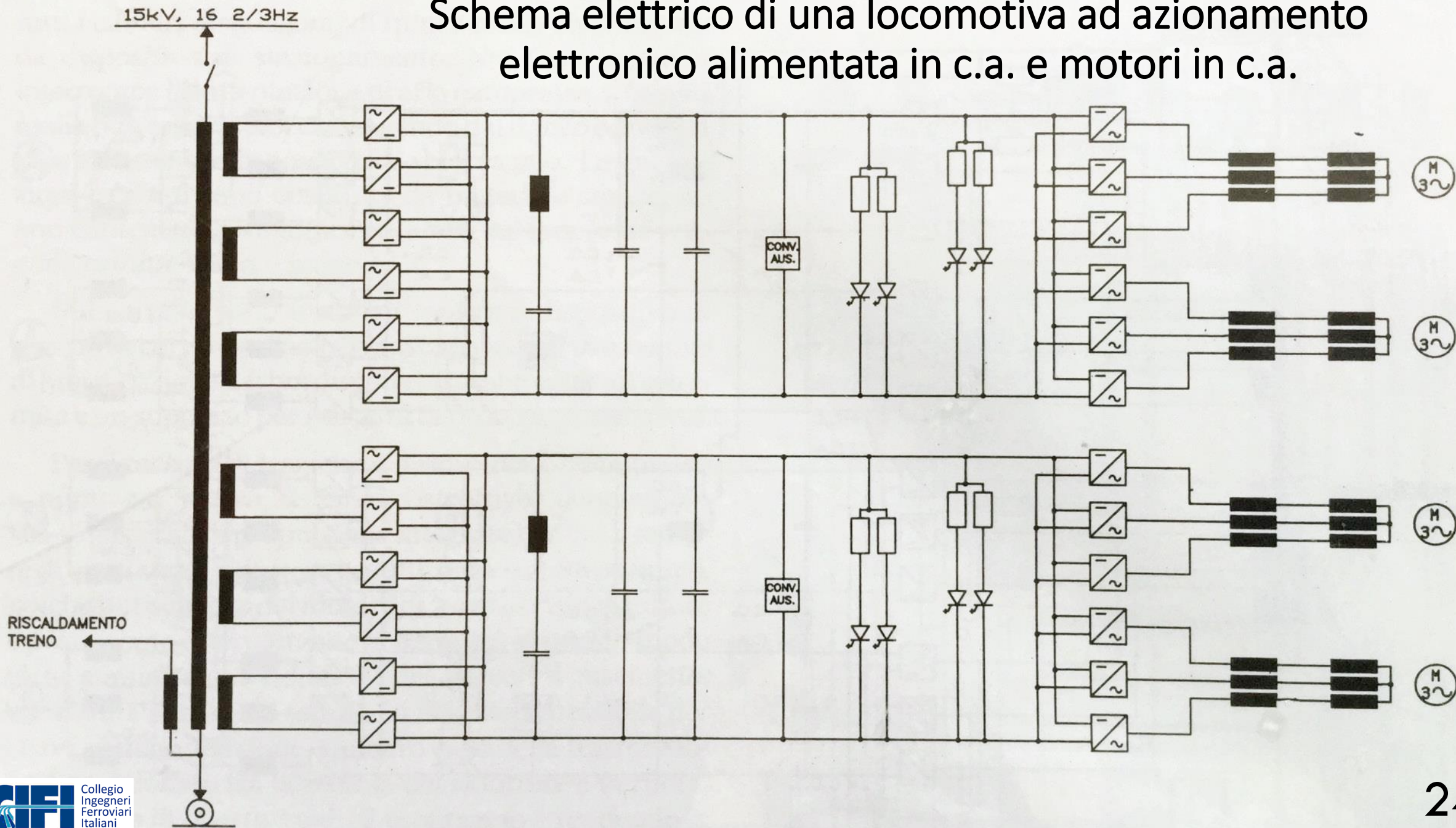


25 kV 50Hz

Schema elettrico di una locomotiva ad azionamento elettronico alimentata in c.a. e motori in c.c.



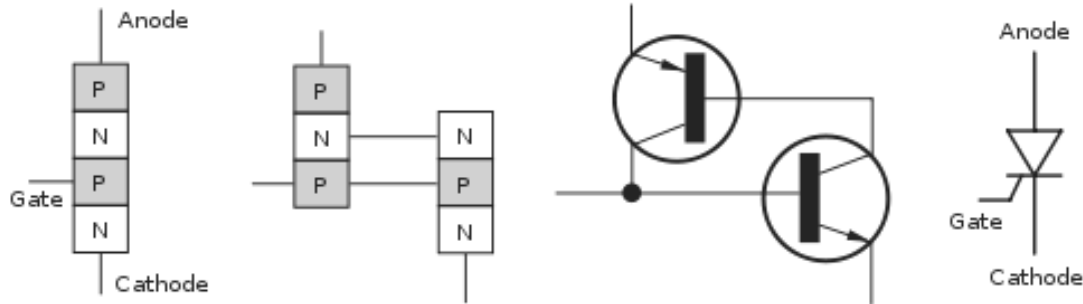
Schema elettrico di una locomotiva ad azionamento elettronico alimentata in c.a. e motori in c.a.



ELETTRONICA DI POTENZA

Evoluzione dei dispositivi elettronici di commutazione

SCR



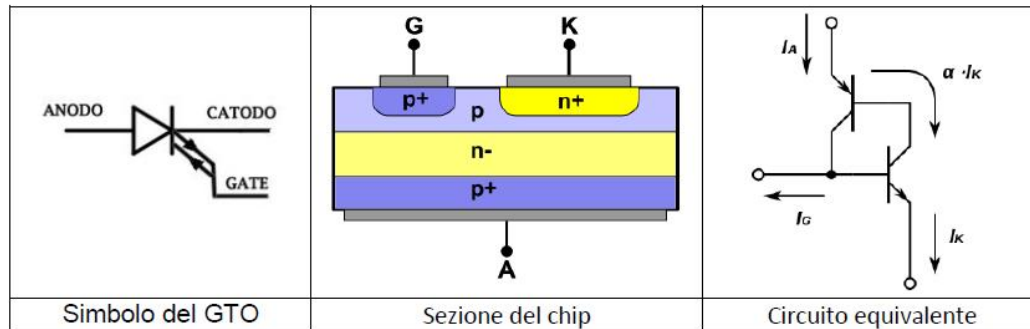
Il tiristore o SCR (Silicon Controlled Rectifier) è dal punto di vista elettrico pressoché equivalente al diodo con la sola differenza che la conduzione diretta avviene solamente in seguito all'applicazione di un opportuno segnale di innesco su un terzo terminale denominato gate.

Lo spegnimento o disinnesco avviene solo tramite applicazione di tensione inversa tra Catodo e Anodo per un periodo sufficiente.

ELETTRONICA DI POTENZA

Evoluzione dei dispositivi elettronici di commutazione

GTO

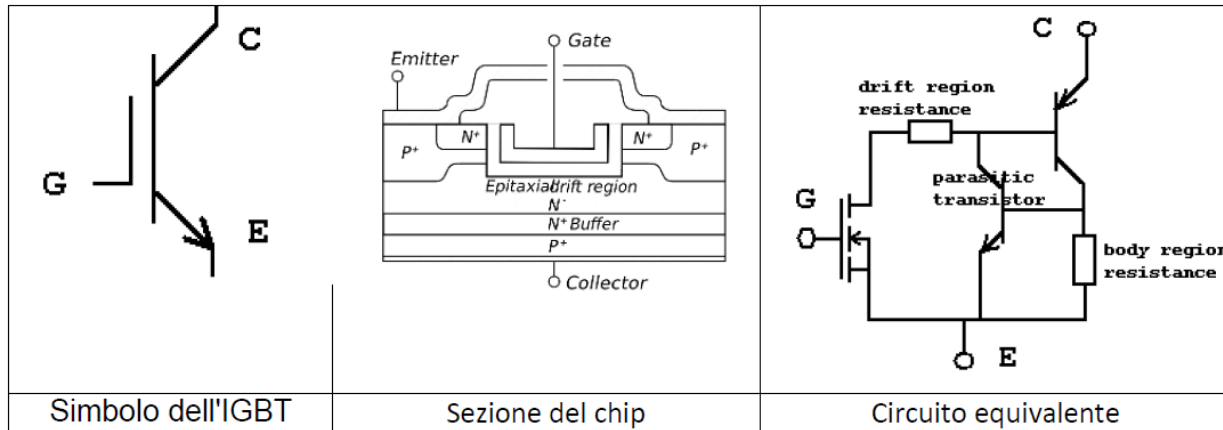


Il **Gate Turn Off (GTO)** è un diodo controllato (o tiristore) che può essere innescato e disinnescato, cioè permettere o bloccare il passaggio della corrente, agendo sull'elettrodo di gate. Supera quindi la limitazione intrinseca dell'SCR in cui il flusso di corrente, una volta innescato, può essere interrotto solo da cause esterne (annullamento spontaneo o forzato della corrente)

ELETTRONICA DI POTENZA

Evoluzione dei dispositivi elettronici di commutazione

IGBT

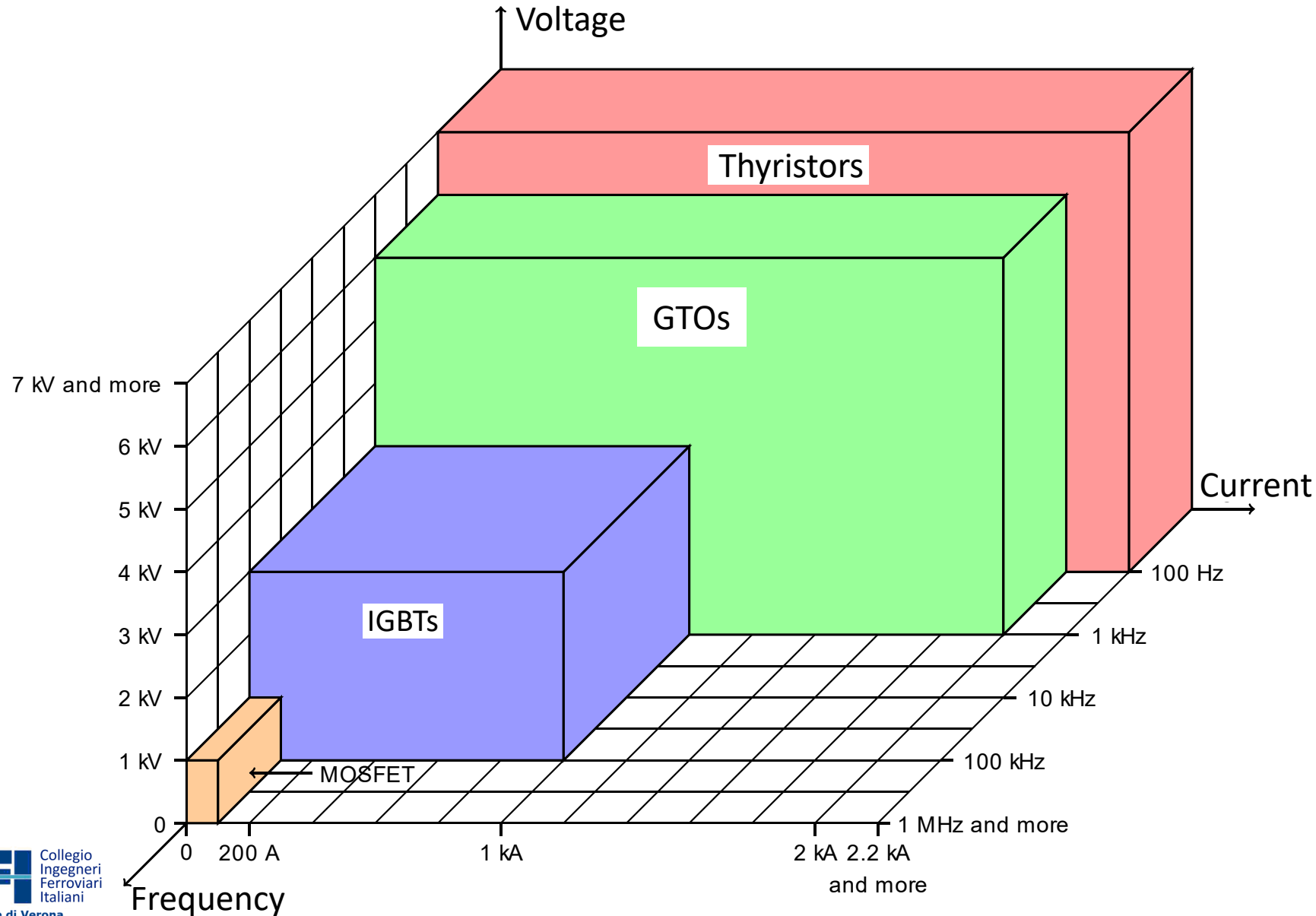


Il **Transistor bipolare a gate isolato** (sigla inglese **IGBT** da Insulated Gate Bipolar Transistor) è un dispositivo a semiconduttore usato come interruttore elettronico in applicazioni ad alta potenza, cioè è in grado di commutare alte tensioni e alte correnti. Esso può essere schematizzato come il collegamento di un MOSFET e di un transistor a giunzione bipolare. Sebbene le correnti massime sopportabili dal singolo dispositivo siano inferiori a quelle del tiristore, utilizzando moduli con più IGBT in parallelo si ottengono componenti capaci di commutare correnti di 1,2 kA con tensione massima di 6 kV.



ELETTRONICA DI POTENZA

Evoluzione dei dispositivi elettronici di commutazione



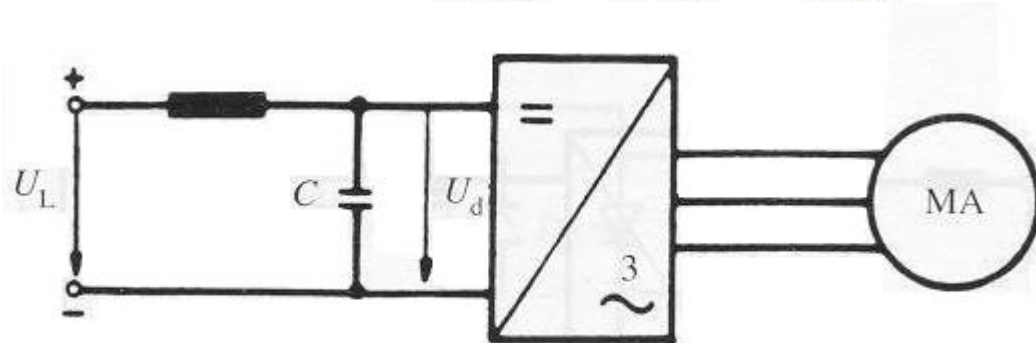
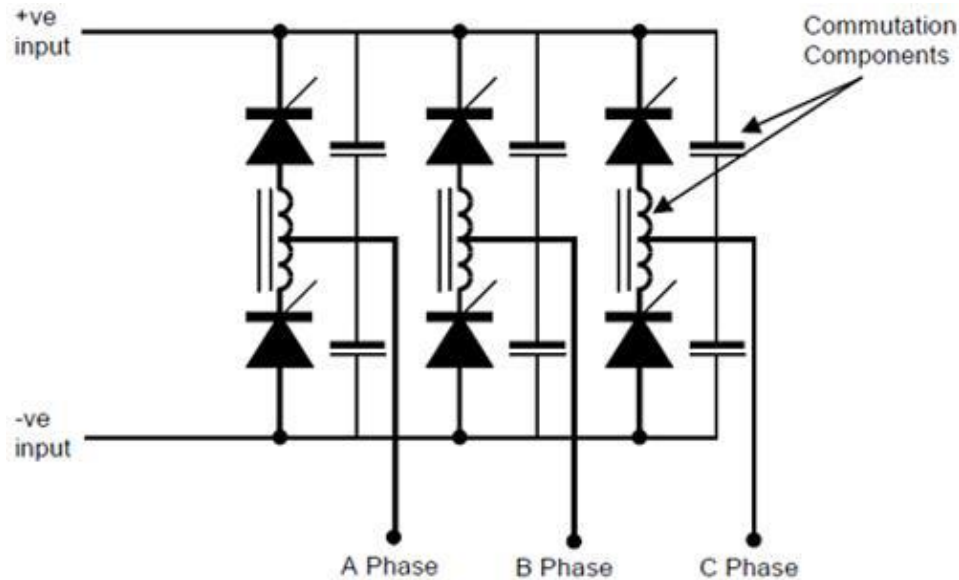
Confronto tra i campi di utilizzazione dei dispositivi elettronici di commutazione in termini di tensione (V), corrente (A) e frequenza (Hz)

ELETTRONICA DI POTENZA

Evoluzione dei dispositivi elettronici di commutazione



INVERTER TRIFASE



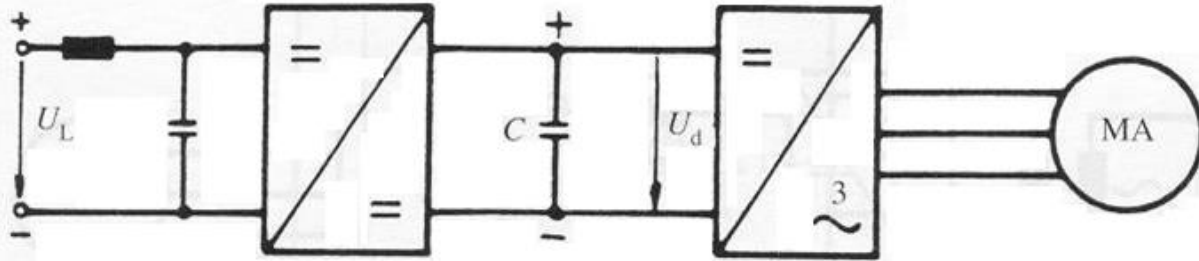
L'inverter è un dispositivo elettronico atto a generare una corrente alternata a partire da una corrente continua; talvolta viene anche detto "convertitore statico di frequenza".

In linea di massima si individuano due tipi di inverter : a frequenza costante (esempio UPS) ed a frequenza variabile (esempio regolare la velocità dei motori trifasi).

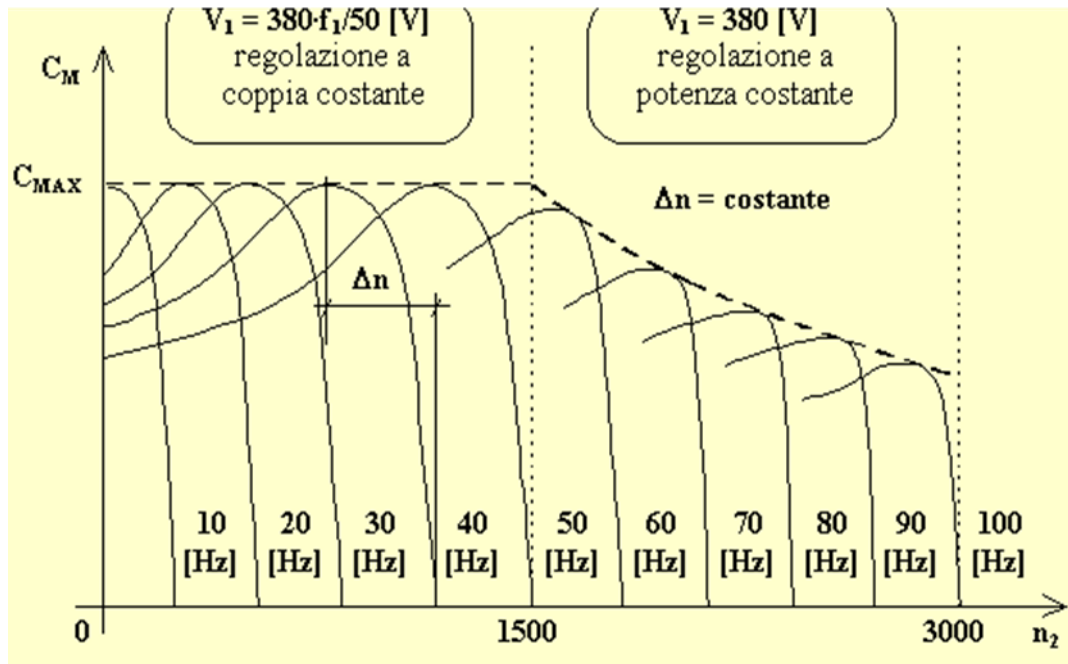
ELETTRONICA DI POTENZA

Evoluzione dei dispositivi elettronici di commutazione

INVERTER TRIFASE



Utilizzando contemporaneamente un chopper e un inverter trifase è possibile controllare un **motore trifase asincrono** in tensione e frequenza ottenendo una curva di coppia molto simile alla caratteristica meccanica esterna ideale dei sistemi di trasporto tramite dei ponti controllati con GTO o IGBT.

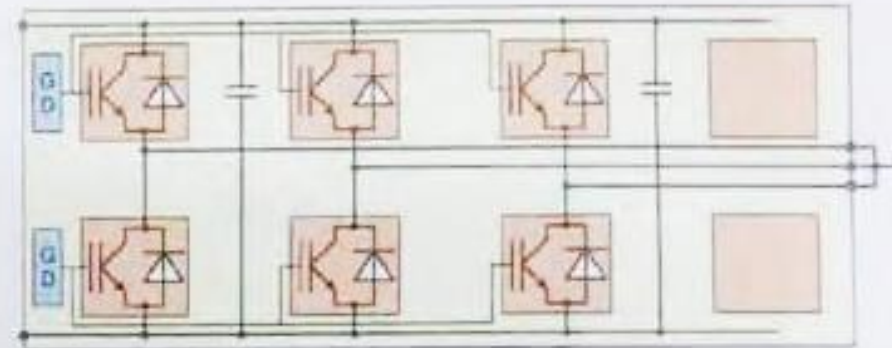


- Il componente base è un IGBT di potenza con isolamento per alta tensione della famiglia HVIM.
- Attualmente sono disponibili IGBT per tensioni di 3.3, 4.5 e 6.5 kV con isolamento fino a 10.5 kV.
- La possibilità di parallelo dei singoli componenti (fino ad un massimo di tre IGBT) consente un accurato frazionamento della potenza.

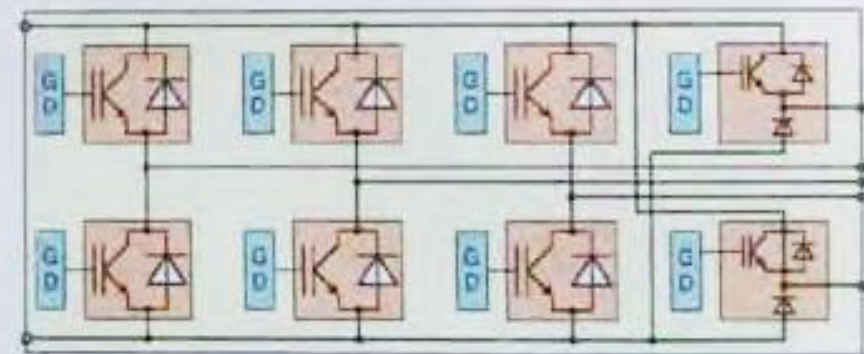


HVIM High Voltage industrial module

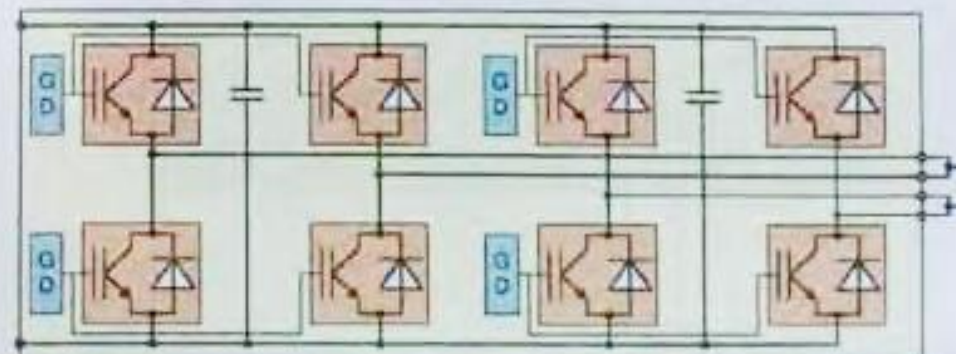
una fase con tre semiconduttori in parallelo



Configurazione trifase con chopper di frenatura



Configurazione bifase con 2 semiconduttori in parallelo



Locomotiva ad azionamento elettronico E.402A

3 kV cc

6 MW

4 motori trifase asincroni

Sul finire degli anni '80, prima dell'imminente apertura della direttissima Firenze-Roma, gli unici mezzi di trazione che avrebbero permesso l'impostazione di servizi alla velocità massima di 200 km/h erano le E.444 che, pur essendo delle buone macchine, erano state realizzate all'inizio degli anni settanta con una tecnologia ormai datata e che, soprattutto, non erano mai state testate realmente a velocità superiori a 180 km/h.

Tra il 1981 e il 1983 i tecnici dell'allora Servizio Materiale e Trazione di Firenze elaborarono il progetto di una locomotiva per treni veloci da affiancare alle E.444. Il progetto venne impostato secondo la filosofia dell'epoca su una **locomotiva universale**, cioè in grado di rimorchiare **treni passeggeri impostati a 200 km/h** e **treni merci a 100 km/h**, a quattro assi motori.

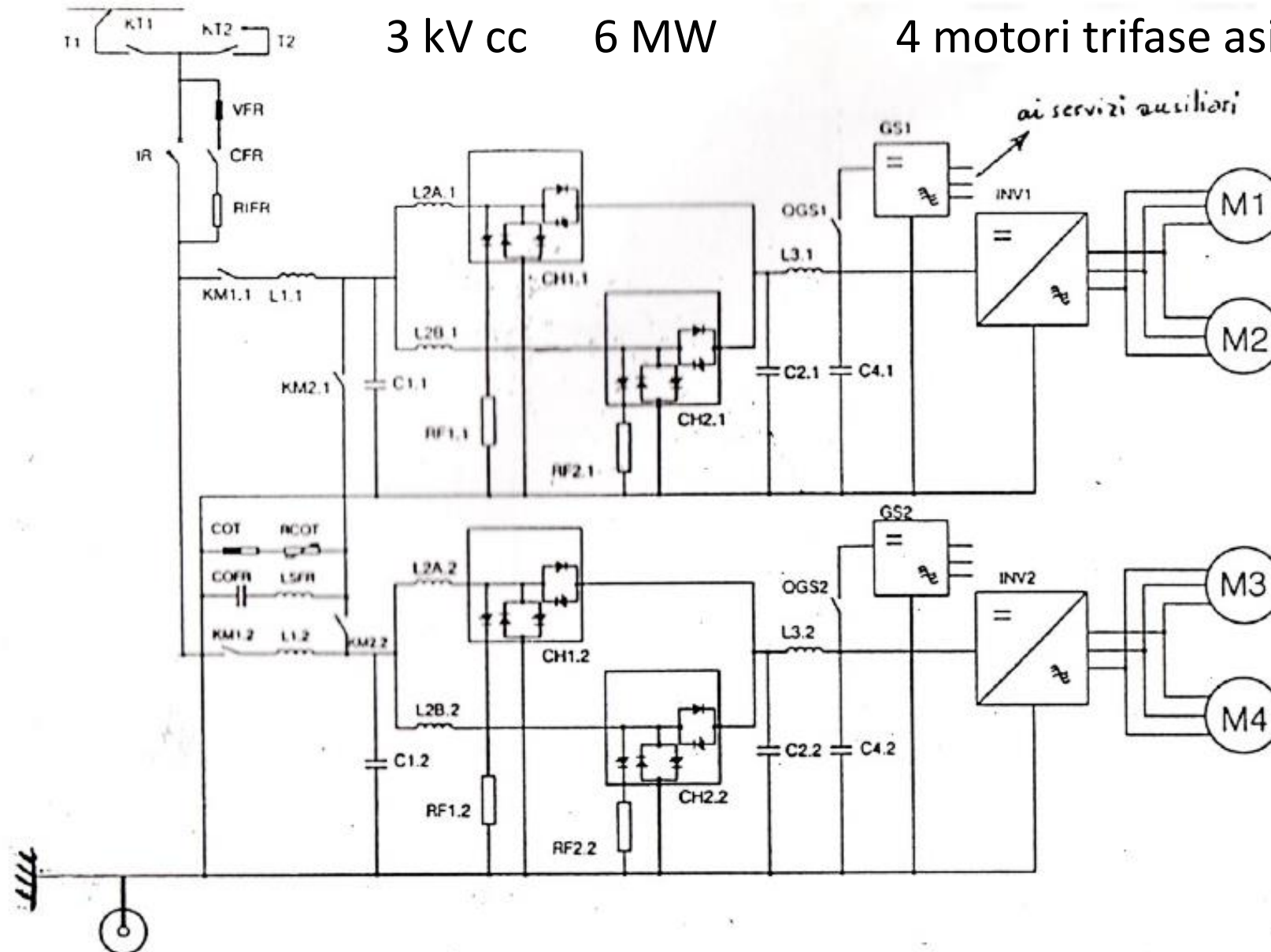
Definite le caratteristiche di massima della locomotiva, occorre definire il tipo di azionamento: scartato a priori l'azionamento di tipo reostatico, ormai obsoleto, venne preferito un **azionamento a convertitori elettronici (inverter) e motori asincroni trifase**, un campo completamente sconosciuto in ambito FS e con pochi punti di riferimento anche a livello internazionale. **Tale scelta fu fatta considerando gli innegabili vantaggi offerti dai motori di trazione asincroni trifase nei confronti di quelli a corrente continua**: minore massa a parità di potenza, minori costi di manutenzione, maggiore affidabilità e, soprattutto, considerando che la veloce evoluzione tecnica rischiava di far diventare presto superata un'impostazione più "tradizionale".

Locomotiva ad azionamento elettronico E.402

1994

3 kV cc 6 MW

4 motori trifase asincroni



Locomotiva ad azionamento elettronico E.402A

1994

3 kV cc (6 MW)



Costruttore
Ansaldo, Firema Trasporti

Locomotiva ad azionamento elettronico E.402B

1998



Costruttore
Ansaldo, Firema Trasporti (Fiore-Casertane), ITIN, SOFER

Locomotiva ad azionamento elettronico E.402B

2012



3 kV cc (6 MW)
1,5 kV cc (3 MW)
25 kV ca 50Hz (6 MW)

Convoglio Frecciabianca

Locomotiva ad azionamento elettronico E.403.024

3 kV cc (6 MW)

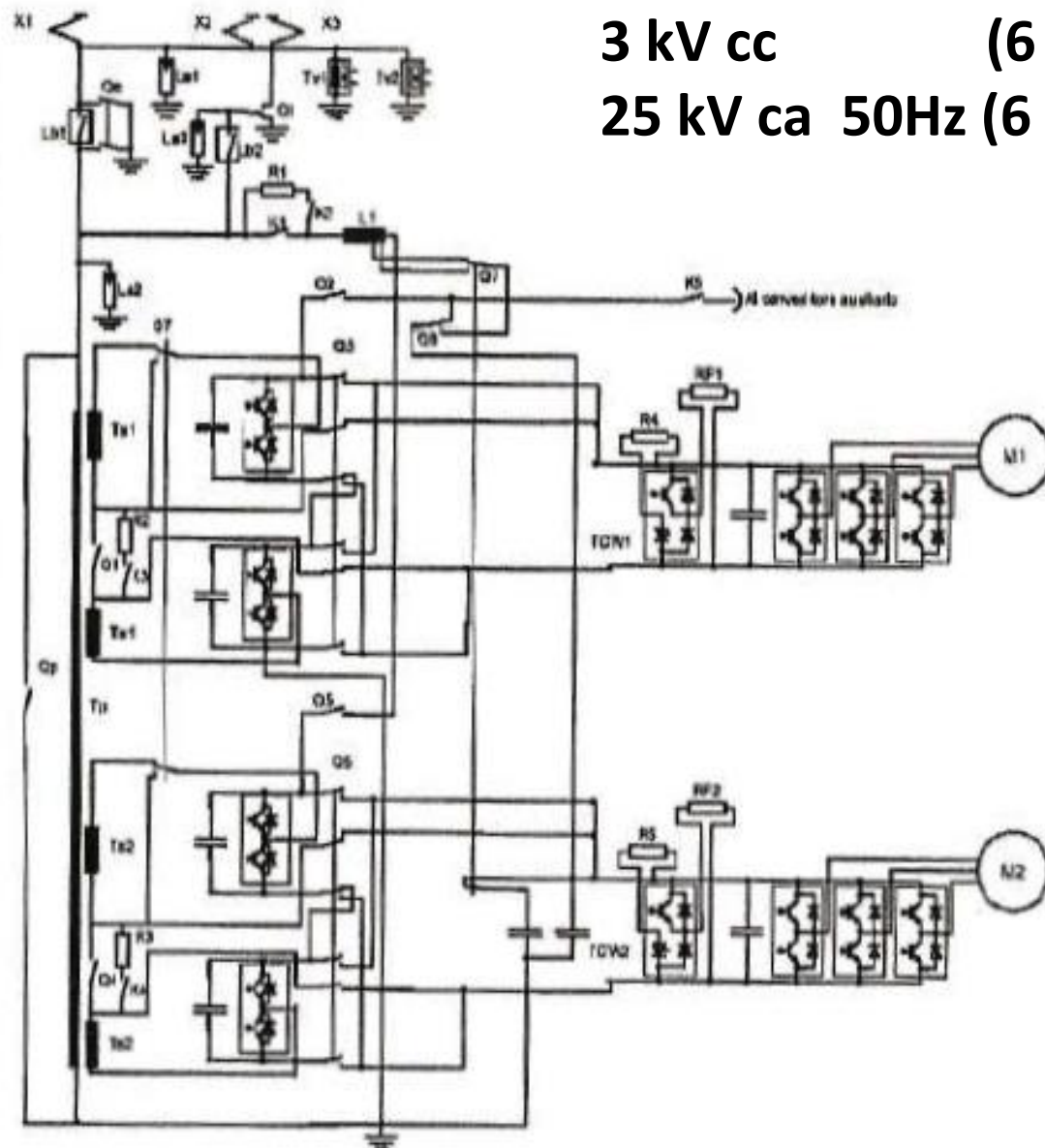
25 kV ca 50Hz (6 MW)

2012



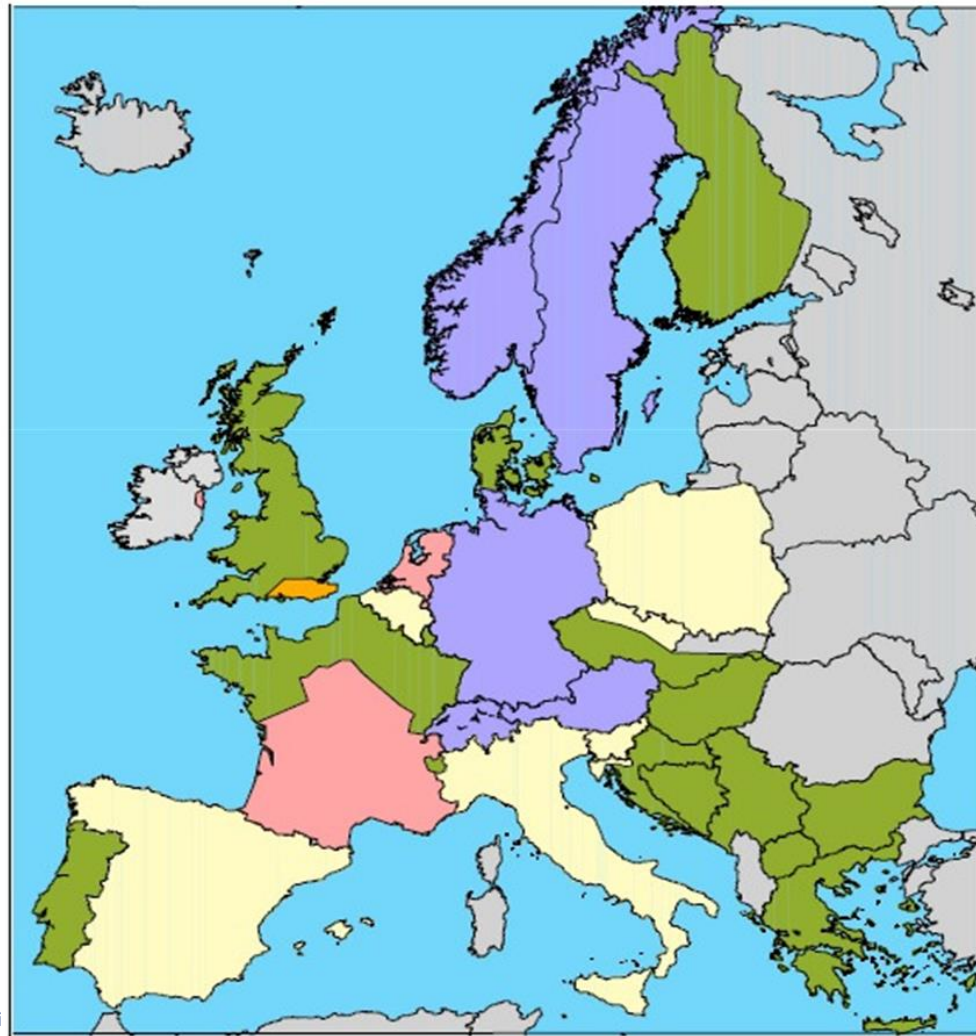
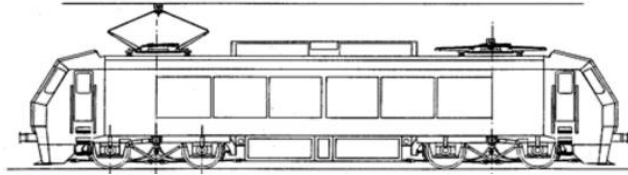
Locomotiva ad azionamento elettronico E.403.024

2012









3 kV cc (6 MW)
25 kV ca 50Hz (6 MW)

Sistemi di alimentazione elettrica in Europa



TRAZIONE ELETTRICA

ANNO 2000

-  750 V cc con terza rotaia
-  1,5 kV cc
-  3 kV cc
-  15 kV ca 16 e 2/3 Hz
-  25 kV ca 50 Hz
-  Non elettrificate/Diesel

Le linee di contatto dei corridoi ferroviari europei normalmente verranno alimentate a 25 kV ca 50 Hz

Locomotiva ad azionamento elettronico E.412

3 kV cc (6 MW)

Brennero

1,5 kV cc (2,7 MW)

4 motori trifase asincroni

15 kV, 16 e 2/3 Hz, ca (5,5 MW)

Le locomotive, **progettate agli inizi degli anni novanta**, nacquero in risposta alla **necessità di poter operare anche al di fuori della rete elettrificata delle FS**, allora essenzialmente a corrente continua a 3 kV, ponendo fine alla necessità del cambio di trazione alla frontiera tra Italia, Austria e Germania (in particolare per la relazione Verona-Monaco attraverso il Brennero).

La commessa per la fornitura assegnata alla ABB-Tecnomasio di Vado Ligure portò alla presentazione ufficiale del prototipo il 14 aprile 1997. Nello stesso anno 1997 la E.412.002 fu trasferita dallo stabilimento ADtranz di Vado Ligure allo stabilimento svizzero ADtranz di Tramont per la messa a punto sotto la linea aerea a 15.000 V. Le prove del sistema di trazione furono positive. La prima consegna alle FS, immatricolata come E.412.012, avvenne il 17 giugno 1999.

Locomotiva ad azionamento elettronico E.412

Brennero

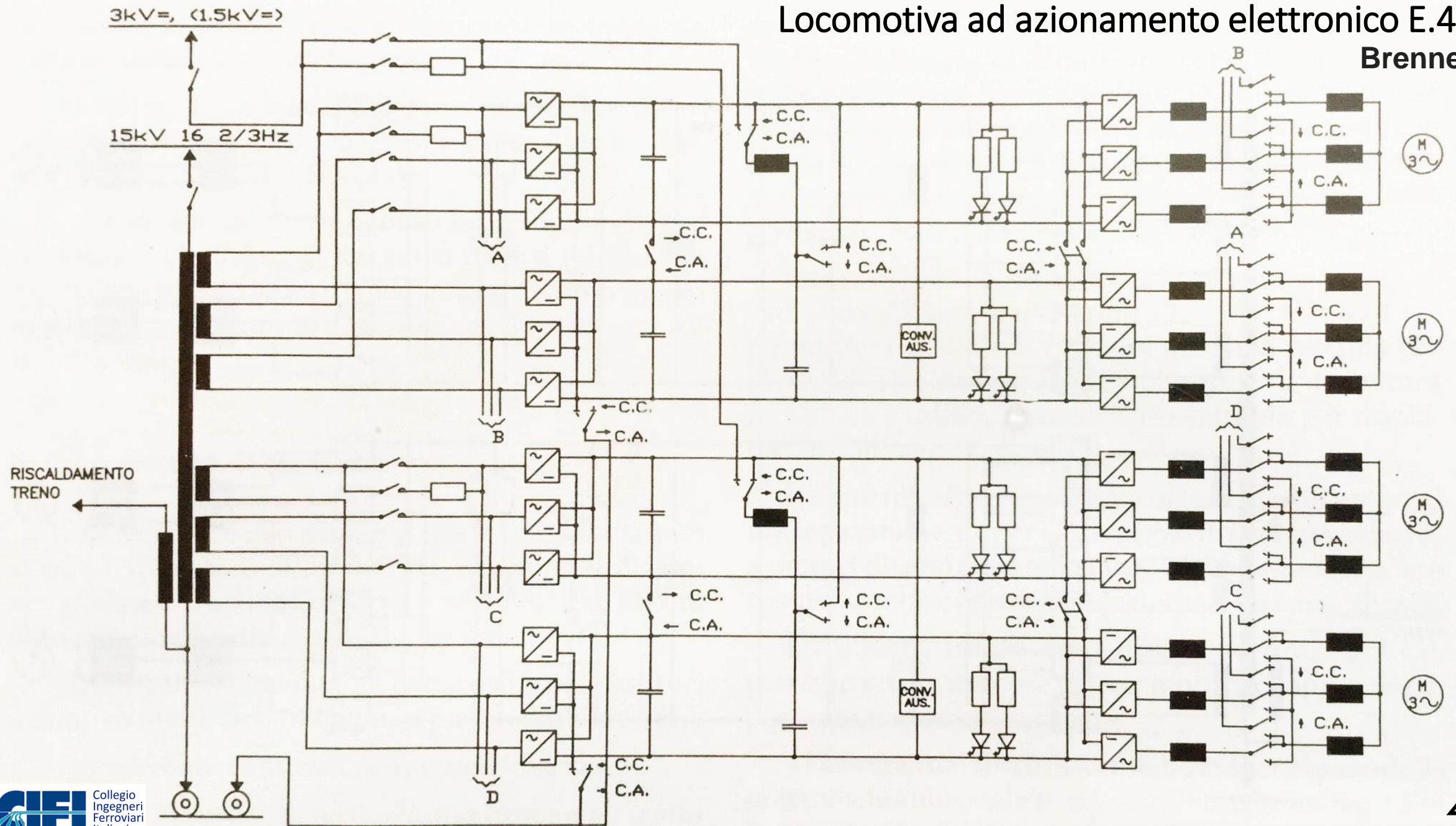
Linea elettrica aerea
3 kV cc (6 MW)
1,5 kV cc (2,7 MW)
15 kV, 16 e 2/3 Hz, ca
(5,5 MW)

1999



Costruttore
ADtranz

Locomotiva ad azionamento elettronico E.412 Brennero



Locomotiva ad azionamento elettronico E.412

Brennero

Le E.412 sono dotate di **4 motori trifase asincroni**. L'impostazione progettuale delle E.412 fa capo al progetto delle locomotive del gruppo 120 della DB. I pantografi sono monobraccio prodotti dalla tedesca Schunk. I due pantografi installati sono differenti tra loro per essere atti alla circolazione sui differenti sistemi di catenaria.

La cassa è in travi d'acciaio e coperture in lamiera grecata, tranne che per l'imperiale (la parte superiore) in alluminio e per i frontali in composito. La parte anteriore delle due cabine è realizzata con due "maschere", opera dei designer Roberto Segoni, Paolo Pizzoccheri, realizzate per termoformatura. La cassa compatta e solida è isolata in modo efficiente, per rientrare nei rigidissimi standard di comfort richiesti dalle leggi sulla sicurezza sul lavoro.

Il banco di manovra è composto da due postazioni di guida: una principale a sinistra, per la marcia in linea su tutte le reti, dotata di comandi duplicati, sul lato sinistro per i macchinisti FS e sul lato destro per i macchinisti ÖBB e DB e una ausiliaria a destra, usata esclusivamente per le fasi di manovra in Austria e Germania. Le cabine sono climatizzate e comunicanti tra loro mediante un corridoio; nel corpo centrale sono allocati gli armadi contenenti le varie apparecchiature tecniche a cui si può accedere dal corridoio. La diagnostica di bordo controllo il funzionamento dei circuiti del rotabile semplificando gli interventi di riparazione. Le E.412 sono telecomandabili da carrozza semipilota tramite una condotta UIC a TCN-18 poli.

Dal 2017 tutte le E.412 sono state assegnate a Mercitalia Rail (ex Trenitalia Cargo), per un totale di 20 unità tutte assegnate al deposito Verona.

Locomotiva ad azionamento elettronico E.464

Linea elettrica aerea

1,5 kV CC 3,4 MW

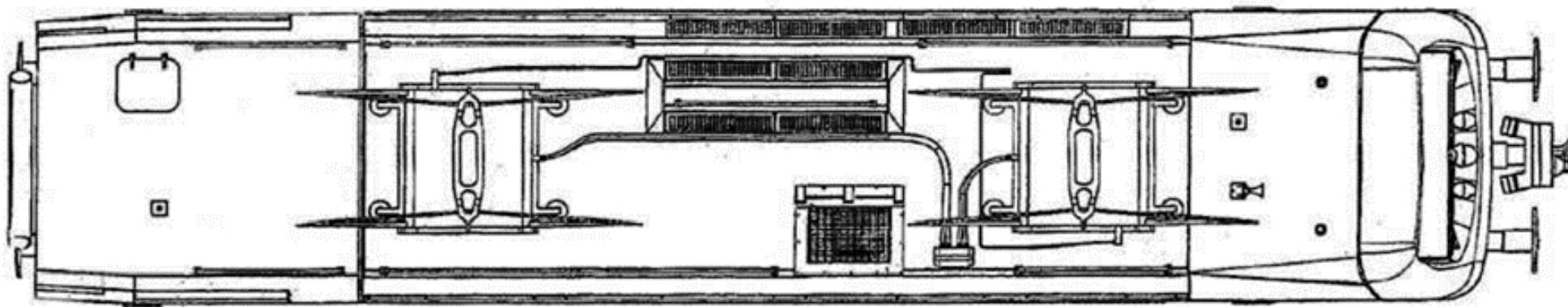
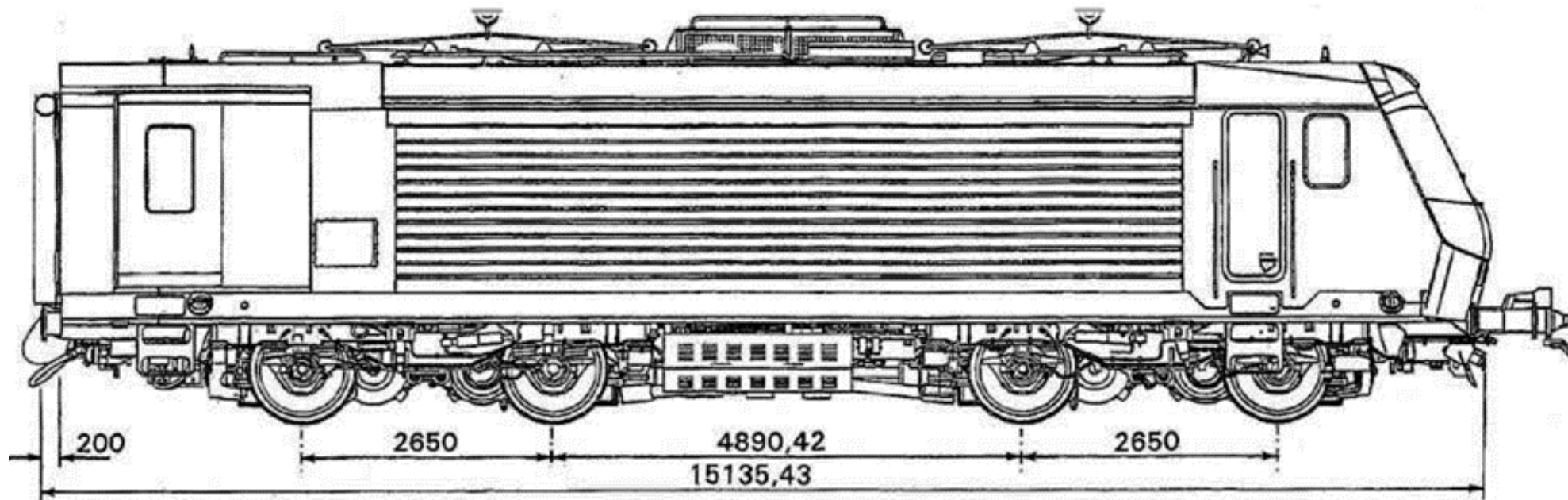
3 kV CC 3,4 MW

2000

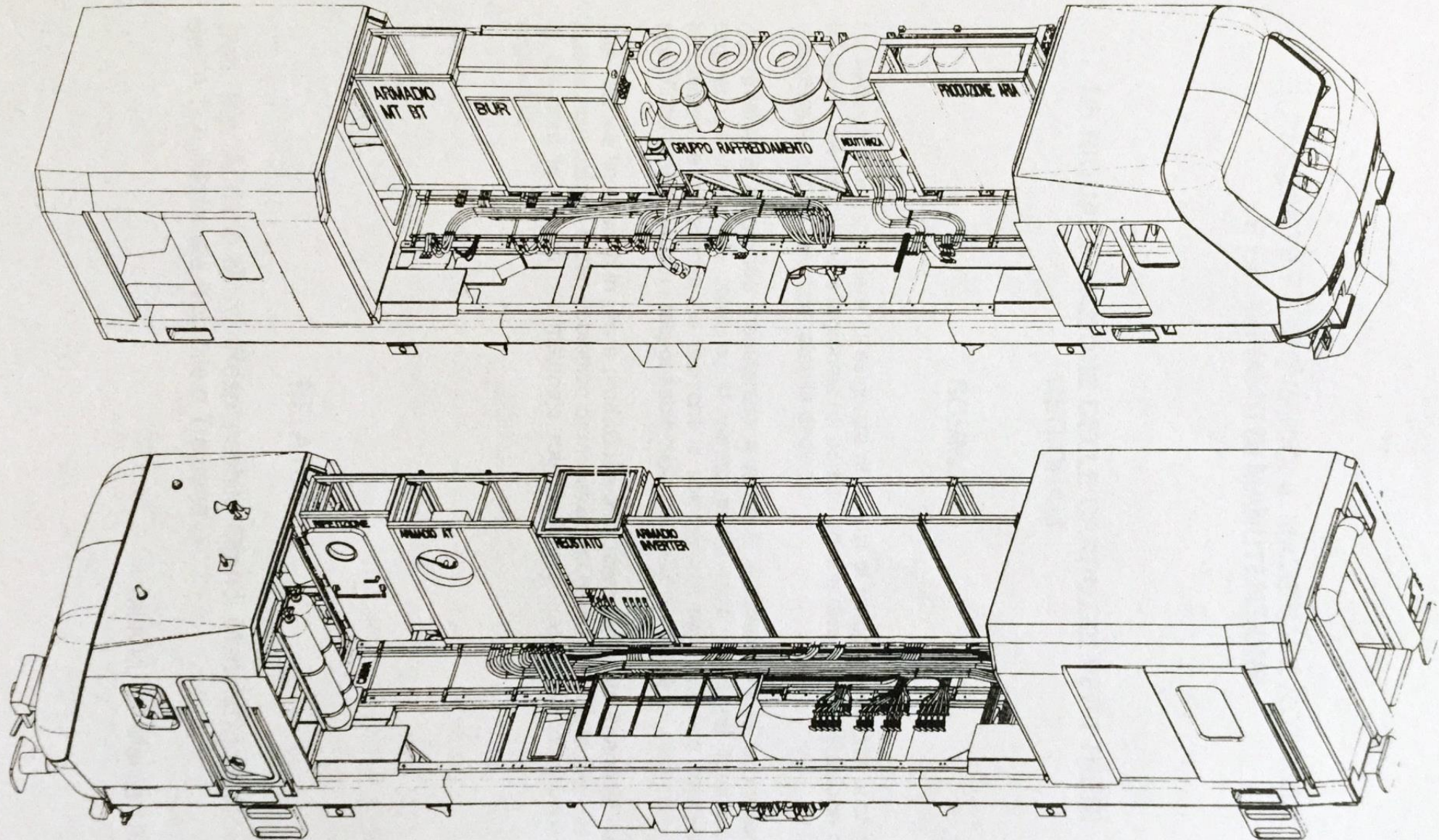


Costruttore
Bombardier Transportation Italy

Locomotiva ad azionamento elettronico E.464



Locomotiva ad azionamento elettronico E.464



Locomotiva ad azionamento elettronico E.464

Le E.464 sono una famiglia di locomotive elettriche leggere sviluppate per l'utilizzo sui treni navetta a corto e medio raggio. Le E.464 sono l'ultimo gruppo di motrici acquistato da Trenitalia, per sostituire le E.646 e le E.424 risalenti agli anni cinquanta e quaranta. Con l'ultimo lotto, le E.464 hanno sostituito anche le E.656 e le E.632 assegnate alle varie DTR.

Le E.464 sono le discendenti di un progetto lanciato da Ferrovie dello Stato negli anni ottanta per la costruzione di un gruppo di locomotive con struttura modulare in grado di essere adattate ai diversi profili di esercizio (navetta, interregionale e cargo). Con la progressiva rimozione per obsolescenza delle motrici costruite grazie al «Piano Marshall», le ferrovie si trovavano in carenza di materiale traente per i treni locali e cominciarono a passare ai servizi navetta le E.646, motrici d'alto livello ma ormai ventenni.

Locomotiva ad azionamento elettronico E.464

Con una gara internazionale nel 1994 le FS diedero incarico ad ABB di sviluppare e costruire una nuova locomotrice basata sui prototipi realizzati: per ridurre i costi venne concordato che i nuovi mezzi sarebbero stati costruiti sulla base delle E.412.

Le E.464 si differenziano dalle E.412 soprattutto per la potenza installata, l'assenza di una delle due testate aerodinamiche in vetroresina (simmetriche nella motrice cargo).

La nuova locomotiva ebbe un grande successo, grazie agli ottimi risultati in termini di affidabilità e flessibilità, sino a spingere le FS ad acquistare 717 locomotive E.464 ovvero conquistando il record di gruppo più numeroso d'Italia.

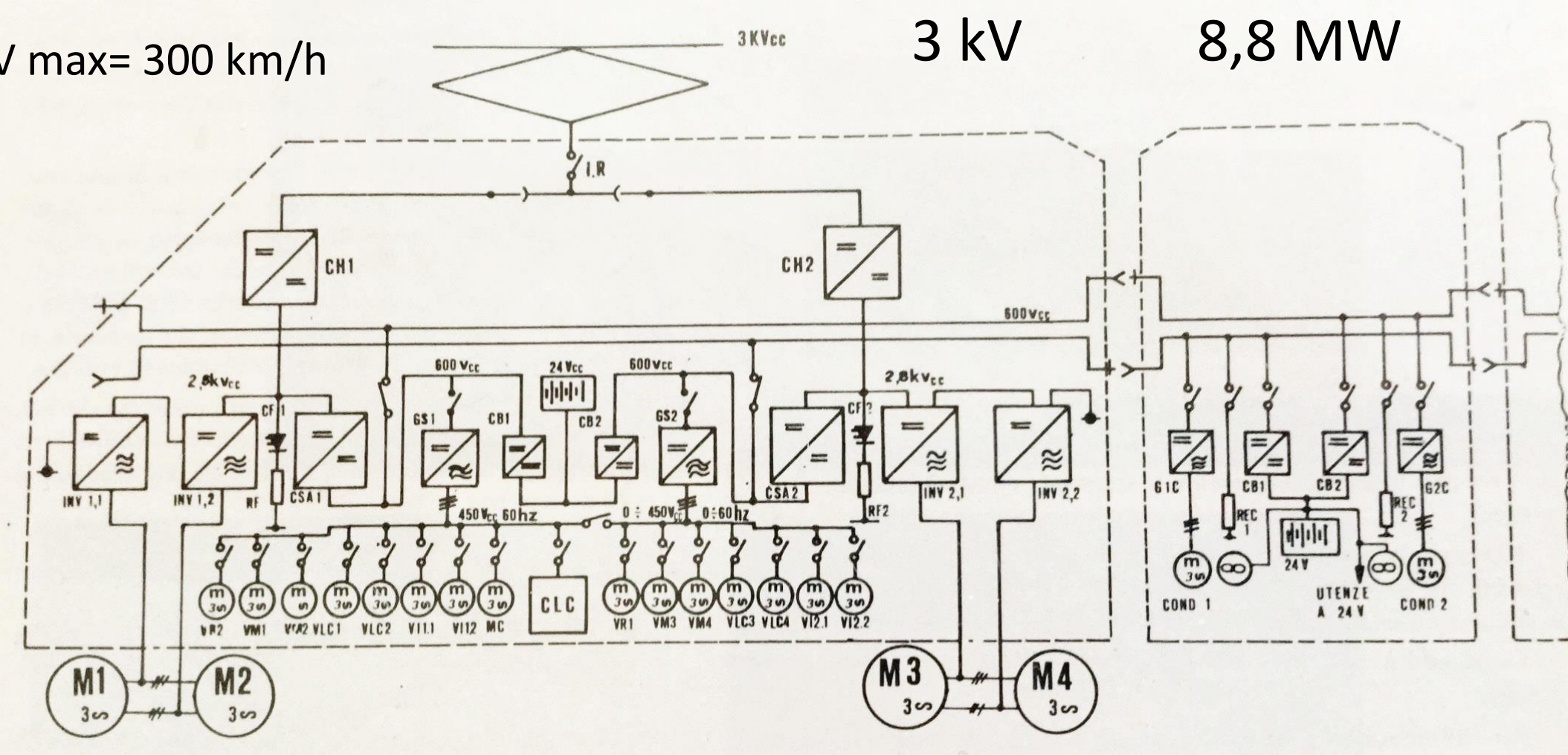
Locomotiva ad azionamento elettronico E.404

V max= 300 km/h



3 kV

8,8 MW



Locomotiva ad azionamento elettronico E.404

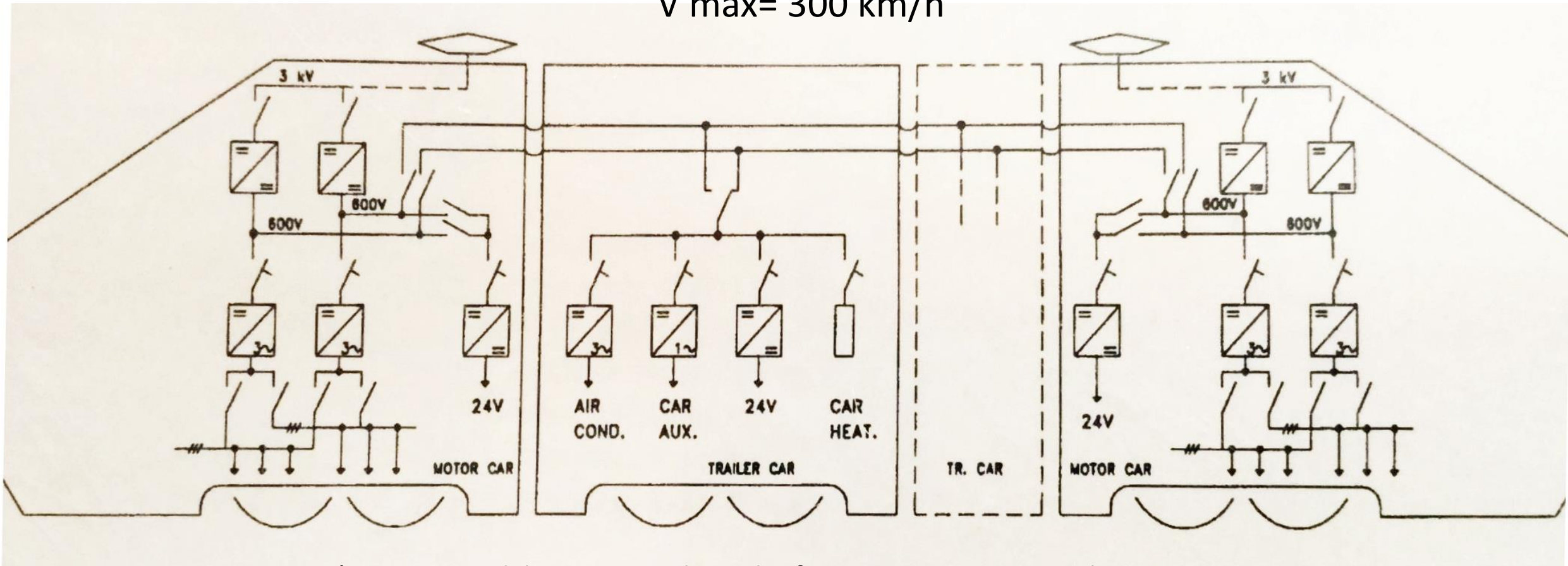
1988

Progettazione e costruzione: Breda, gruppo Pininfarina (per l'aerodinamica), ABB Tecnomasio e Ansaldo Trasporti (per la parte relativa agli equipaggiamenti) e Fiat Ferroviaria (per quanto riguarda i carrelli)



E.414.060 (mono-corrente 3 kV 8,8 MW)

V max= 300 km/h



La E.414 è un gruppo di locomotive elettriche ferroviarie costruite negli anni 1994-1996, per un totale di 60 unità, come la classe E.404 è stata utilizzata in coppia nei treni ad alta velocità ETR 500 . A partire da 2007, essi sono stati ristrutturati per essere utilizzati, a doppia unità, per trainare i treni Frecciabianca bicorrente 3 kV DC, 25 kV 50 Hz AC.

E.414.060 (mono-corrente: 3kV)

1992–2007

V max=300 km/h

P=8,8 MW



(dal 2007 trasformate in bi-corrente: 3 kV DC, 25 kV 50 Hz AC)

Progettazione e costruzione:

Consorzio Trevi (Breda Costruzioni Ferroviarie, FIAT Ferroviaria,
Tecnomasio e Firema Trasporti)

Il processo di unificazione ferroviaria europea

Il processo di unificazione ferroviaria europea ha creato le condizioni per la graduale rimozione delle barriere tecniche e organizzative, che impediscono la libera circolazione dei treni completi in tutte le reti ferroviarie dei paesi aderenti.

Esistono a tutt'oggi numerose problematiche tecniche, che impediscono alla ferrovia di dispiegare tutte le sue potenzialità: diverso scartamento, diversa alimentazione elettrica di trazione, diversi sistemi di segnalamento e comunicazione, diversa lunghezza massima ammessa di un treno, peso massimo, sagoma limite, ecc.

Nei tempi passati i timori nazionalistici di alcune grandi nazioni evidenziarono il fatto che uno standard ferroviario unificato potesse costituire un'agevole via di penetrazione ed invasione, in caso di guerra.

L'importanza di realizzare al più presto corridoi ferroviari europei standard

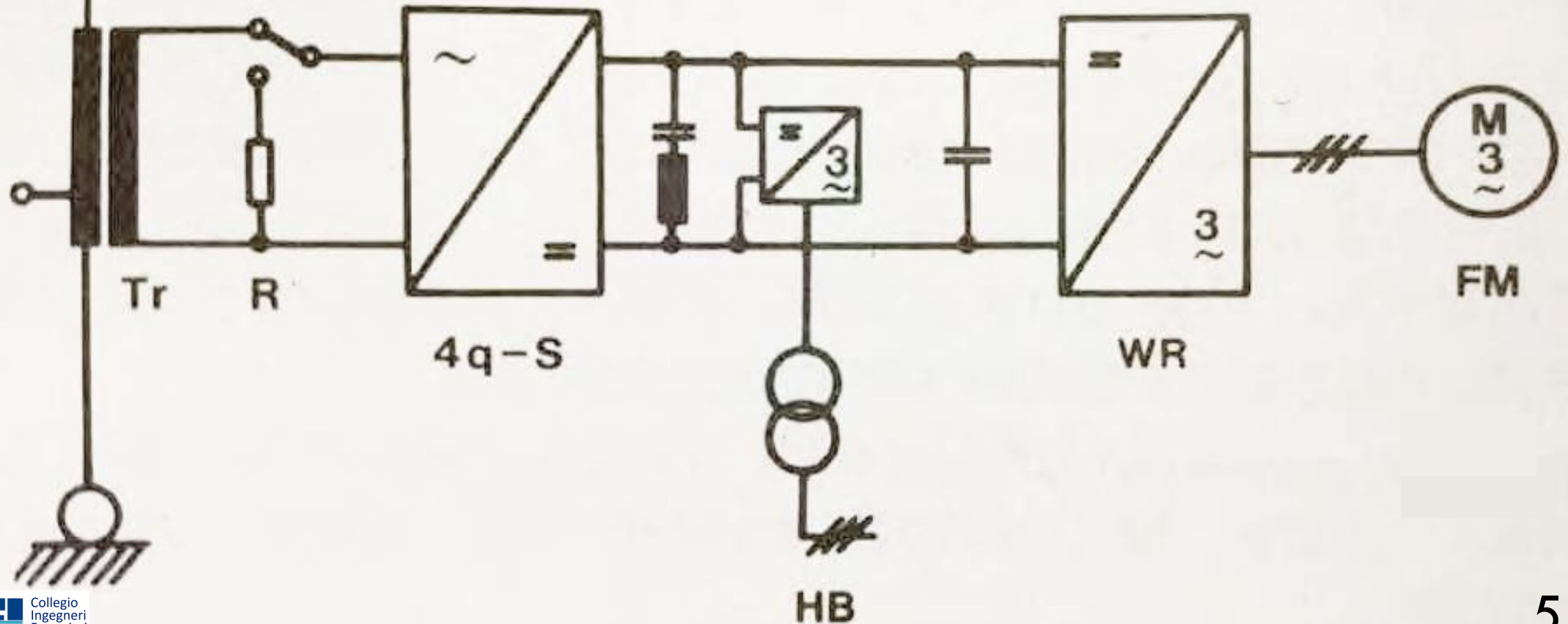
Un importante contributo alla più ampia adozione della trazione a 25 KV ca 50 Hz, che è l'attuale standard di riferimento, è stato dato dalla SNCF (Société Nationale des Chemins de fer Français) dopo la Seconda Guerra Mondiale. La Società, dovendo ricostruire la rete ferroviaria del nord della Francia, avendo valutato che la tecnologia delle locomotive in corrente alternata era sviluppata a sufficienza, dopo aver verificato che l'infrastruttura da realizzare era più economica ed efficiente rispetto alle esistenti, la adottò. Tale sistema, opportunamente perfezionato, è stato scelto per realizzare le nuove linee ferroviarie ad Alta Velocità e ad Alta Capacità sia in Europa che negli altri continenti.

Al fine di garantire la circolazione dei treni sicura e senza ostacoli sono necessari sistemi di comando e di sicurezza; nel corso degli anni in Europa sono stati installati ben 23 sistemi, tra loro incompatibili, in genere su base nazionale.

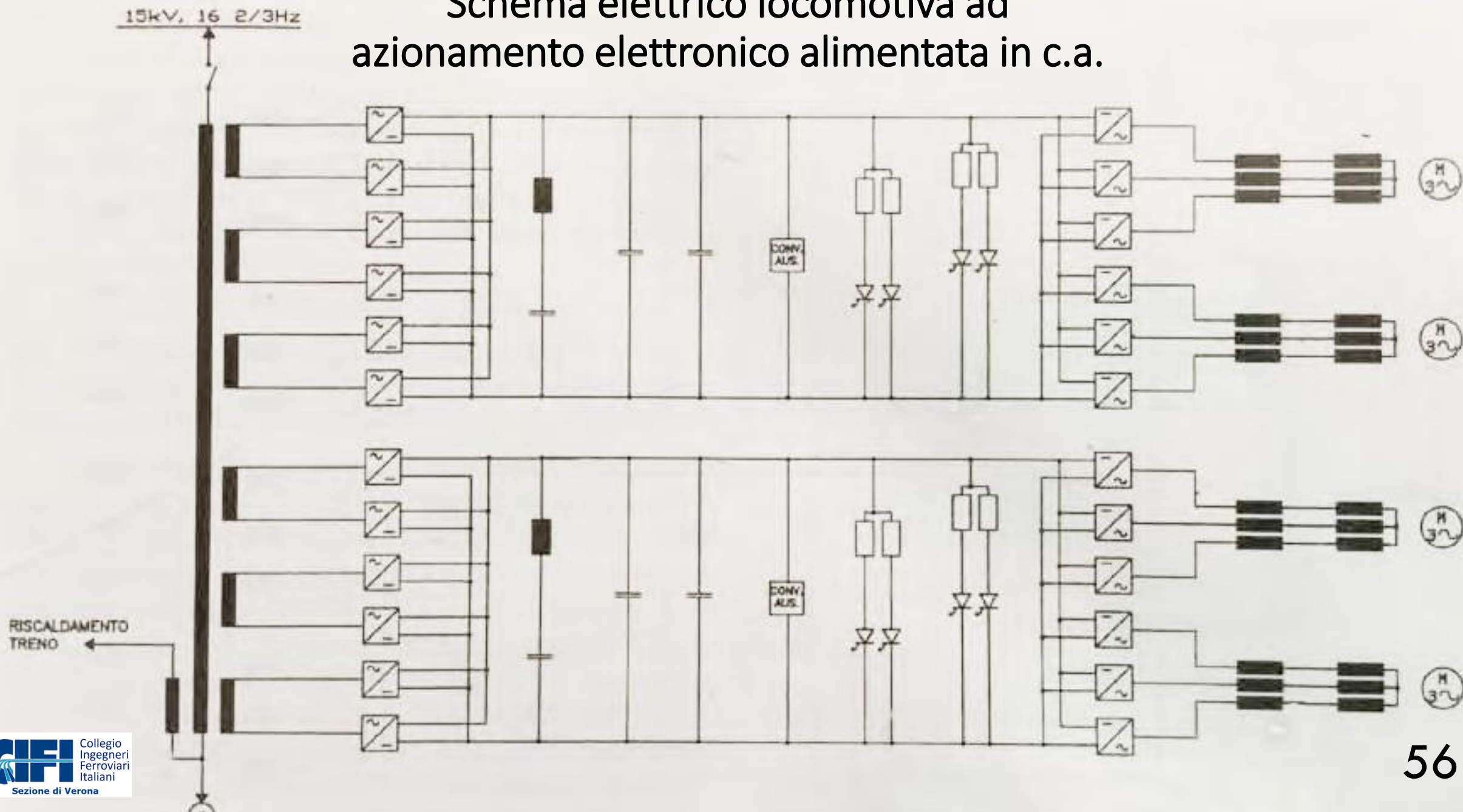
Un treno merci per viaggiare sulla rete ferroviaria europea "Convenzionale" deve a tutt'oggi superare tutta una serie di ostacoli che rendono altamente difficoltoso ai trasportatori il raggiungimento di un livello di servizio accettabile rispetto agli altri modi di trasporto.

Ciò evidenzia l'importanza di realizzare al più presto corridoi ferroviari europei standard ad Alta Capacità per poter rendere competitivo il trasporto ferroviario delle merci sulle lunghe distanze.

Schema elettrico di una locomotiva ad azionamento elettronico alimentata in c.a.



Schema elettrico locomotiva ad azionamento elettronico alimentata in c.a.



L'interoperabilità ferroviaria europea

Le decisioni per studiare l'unificazione ferroviaria europea furono concordate in una riunione dei ministri dei trasporti dei paesi aderenti tenutasi alla fine del 1989; l'obiettivo era quello di ottenere l'interoperabilità dei vettori e ciò venne definito nei suoi requisiti essenziali da un gruppo di esperti ferroviari, inquadrati nel Gruppo di studio UIC-ERRI-s 1069.

L'attuale obiettivo finale è quello di realizzare la Rete Centrale (TEN-T) entro il 2030 e di adeguare la Rete Globale (Rete Convenzionale), che alimenterà la Rete Centrale entro il 2050.

Ogni due anni viene pubblicata una relazione sui progressi dell'interoperabilità, che costituisce la base per l'analisi delle tendenze di realizzazione dell'interoperabilità in tutta l'Unione europea.

Progressi dell'interoperabilità ferroviaria europea

Notizie sui progressi dell'interoperabilità ferroviaria europea vengono pubblicati periodicamente dall'ERA (EUROPEAN UNION AGENCY FOR RAILWAYS). Il Report più recente è quello relative al 2016 pubblicato il 28/06/2017.

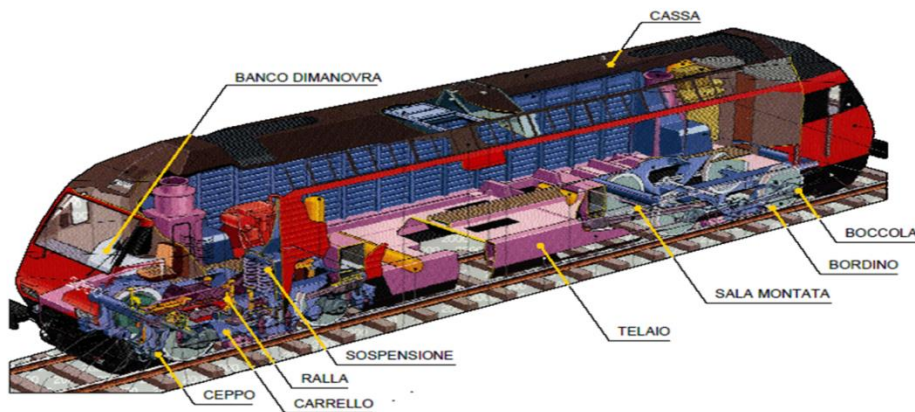
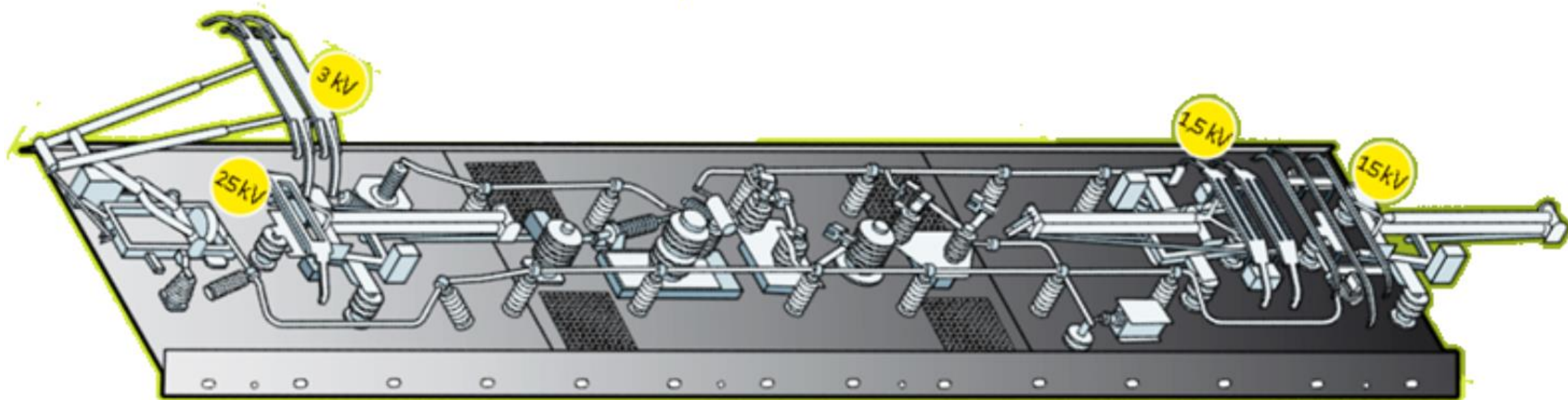
Per verificare che vengano rispettate le Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI) è stata approvata dal Parlamento europeo la Direttiva 2004/49/CE, che si occupa di quattro importanti aspetti:

1. istituzione in ciascuno Stato membro di un'autorità responsabile dei controlli di sicurezza (indipendente da qualsiasi impresa ferroviaria, gestore dell'infrastruttura, soggetto richiedente la certificazione e ente appaltante);
2. reciproco riconoscimento dei certificati di sicurezza rilasciati negli Stati membri;
3. creazione di indicatori comuni di sicurezza (CSI) per valutare che il sistema sia conforme agli obiettivi comuni di sicurezza (CST) e per facilitare il monitoraggio delle prestazioni in materia di sicurezza ferroviaria;
4. definizione di norme comuni per le indagini di sicurezza.

Le norme nazionali di sicurezza, dovrebbero essere sostituite gradualmente da norme fondate su standard comuni, sviluppati sulla base delle specifiche tecniche di interoperabilità (STI).

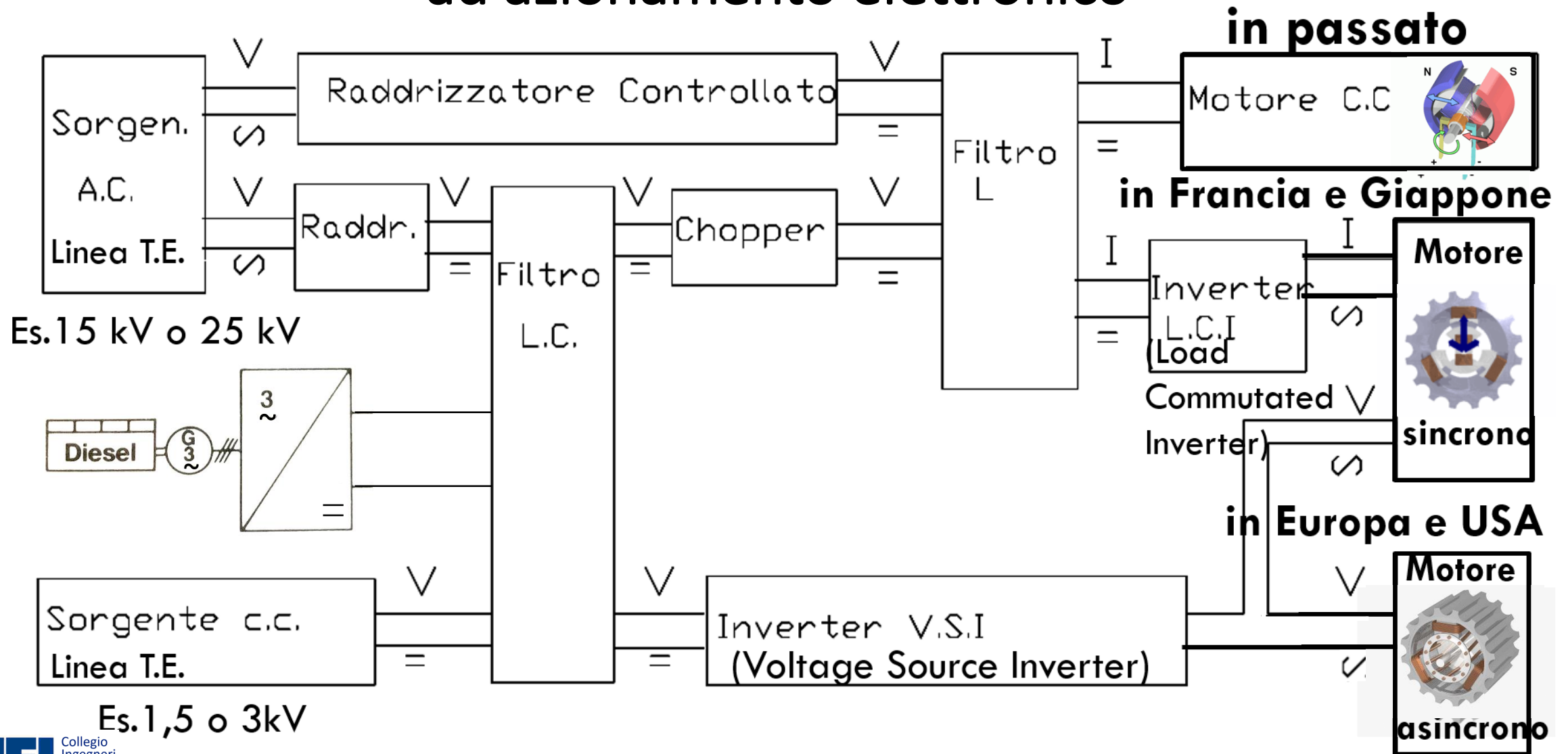
L'elenco completo delle NSA europee "List of National Safety Authorities and national investigation bodies" è stato pubblicato, tra l'altro, nella Relazione sui progressi dell'interoperabilità 2011.

Soluzione: Locomotiva politemensione

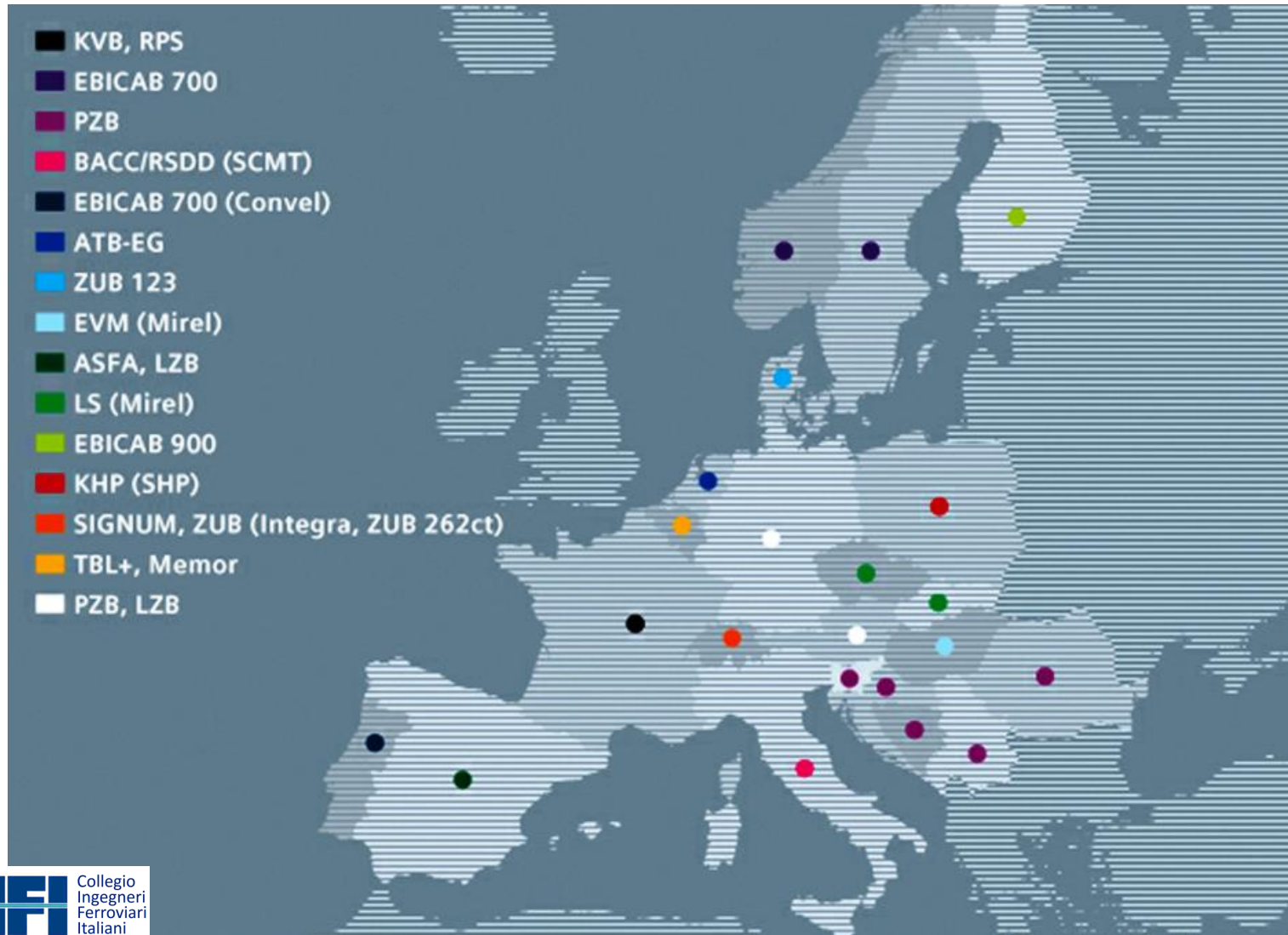


Un pantografo per ogni alimentazione

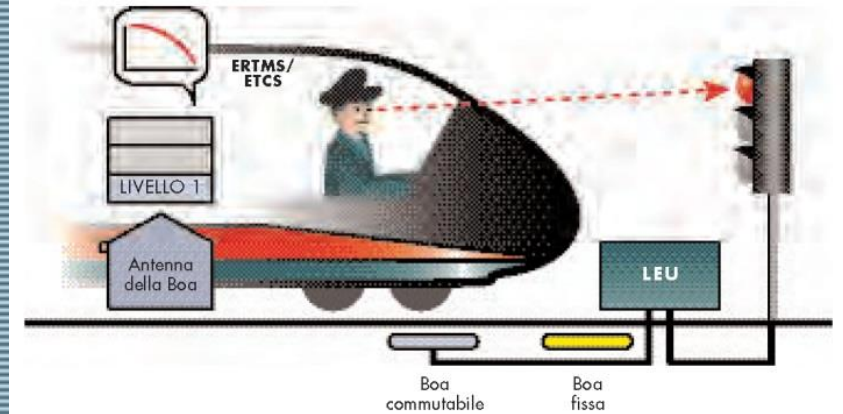
Schema generale dei possibili sistemi di trazione elettrica ad azionamento elettronico



Più di 20 sistemi di protezione della circolazione dei treni



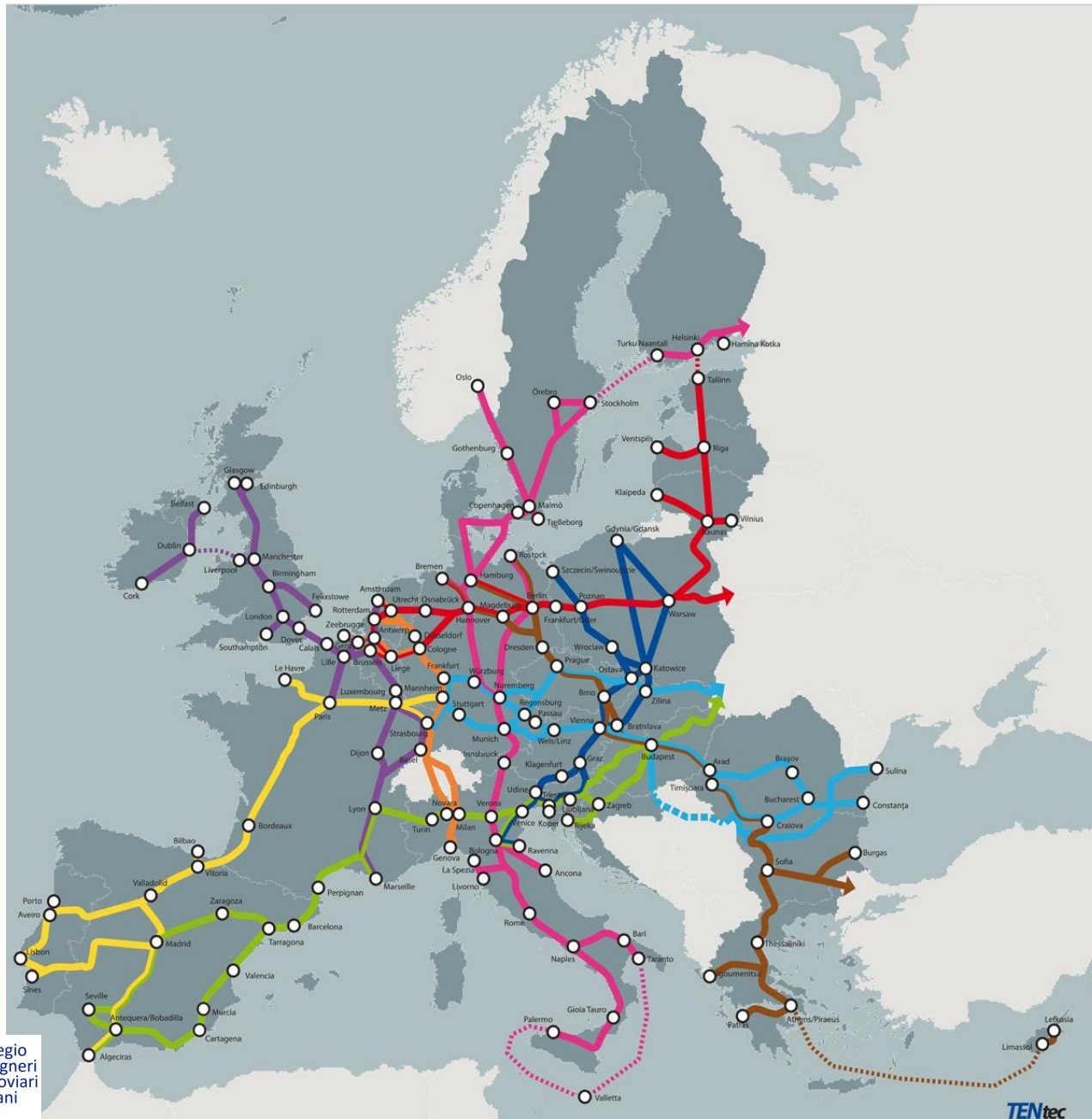
SEGNALAMENTO



La necessità di cambiare mezzi di trazione e personale alla frontiera si ripercuote in particolare sul trasporto delle merci. Sebbene il trasporto su rotaia dovrebbe essere più competitivo sulle lunghe distanze, ad ogni frontiera lievitano i costi e si accumulano ritardi, che si traducono in perdite di mercato e nella saturazione della rete stradale.



I corridoi Europei

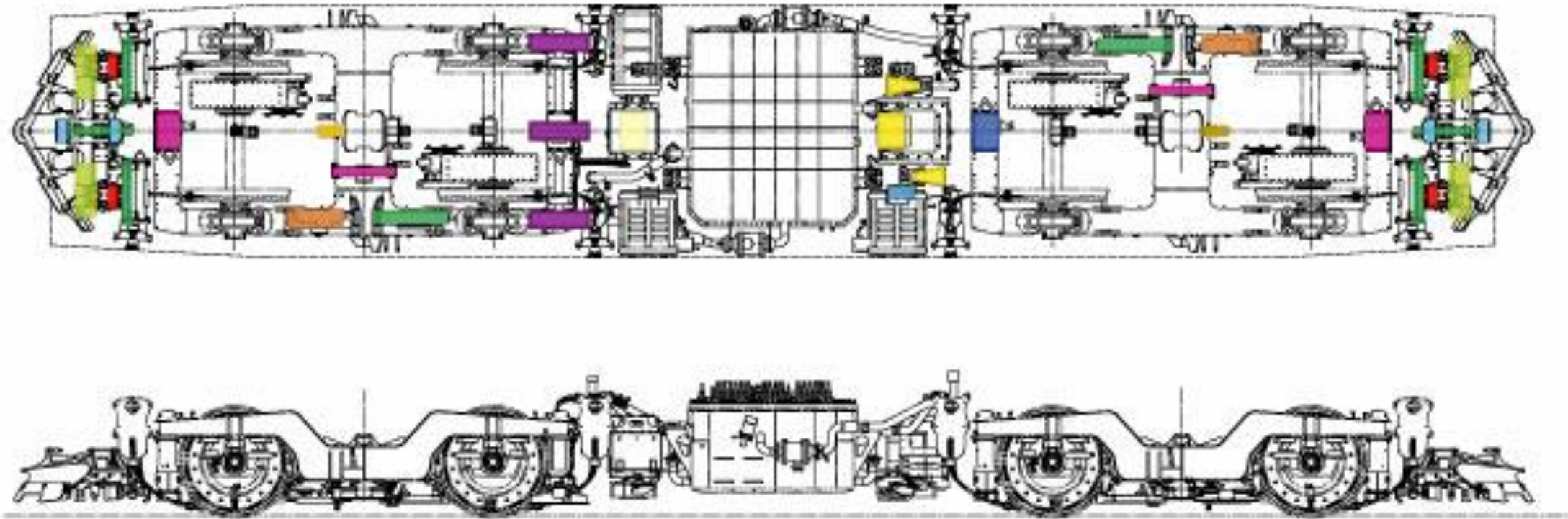


- TRANS-EUROPEAN TRANSPORT NETWORK**
- BALTIC-ADRIATIC
 - NORTH SEA-BALTIC
 - MEDITERRANEAN
 - ORIENT/EAST-MED
 - SCANDINAVIAN-MEDITERRANEAN
 - RHINE-ALPINE
 - ATLANTIC
 - NORTH SEA-MEDITERRANEAN
 - RHINE-DANUBE

Dotazione sistemi di segnalamento e sicurezza di un locomotore per poter circolare in tutta Europa

	Oggi	Situazione prevista al 2030	Situazione prevista al 2050
Stato	Oltre 20 sistemi di protezione della circolazione dei treni	Sistema ERTMS installato su tutti i corridoi transfrontalieri	ERTMS installato su tutte le linee Europee
	Sistemi nazionali di protezione della circolazione dei treni (nelle linee alternative nazionali) e sistemi ERTMS sulle tratte completate dei corridoi europei	Sistemi nazionali di protezione della circolazione dei treni ancora in servizio (nelle linee alternative nazionali)	Non dovranno più esistere sistemi nazionali di protezione della circolazione dei treni
Requisiti	Sul locomotore devono essere installate tutte le apparecchiature di protezione di tutti i sistemi utilizzati nelle linee da percorrere e i sistemi radio dei paesi da coprire	Sul locomotore dovranno essere installate tutte le apparecchiature di protezione di tutti i sistemi utilizzati nelle linee da percorrere e i sistemi radio dei paesi da coprire + ERTMS	I locomotori dovranno essere dotati esclusivamente con il sistema ERTMS

Locomotore con componenti interoperabili modulari



- | | | | | |
|--|---------------------------------|--------------|------------|--------------------------|
| ■ ETCS, KVB, SCMT, TBL1+ (Option) / ATC2 | ■ ETCS, KVB, SCMT, TBL1+ / ATC2 | | | |
| ■ LZB | ■ SHP | ■ Integra | ■ Euroloop | ■ EVM 120, LS 90 (Mirel) |
| ■ PZB | ■ ZUB 262ct | ■ Memor, RPS | ■ ATB-EG | ■ SCMT (RS4C) |

EUDDplus – European Drivers Desk Advanced Concept Implementation

<http://cordis.europa.eu/>
2006-2010

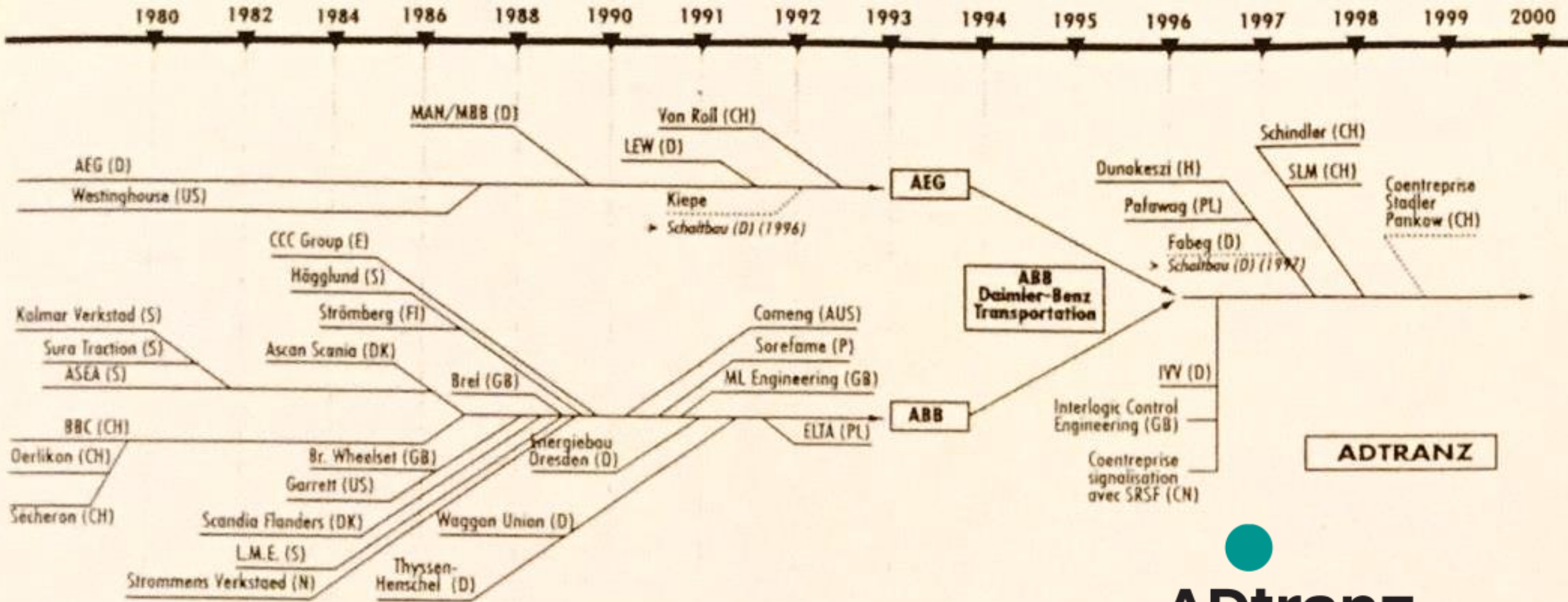
EUDDplus (European Driver's Desk)



- 1 Monitor Radio
- 2 Console di display e diagnostica
- 3 Controllo principale
- 4 Tastiera
- 5 Monitor di controllo
- 6 Dispositivo uomo morto
- 7 Controllo frenatura
- 8 Telefono
- 9 Aria condizionata - Tergicristalli - Lavaggio parabrezza
- 10 Scheda oraria elettronica

EUDDplus è un progetto europeo che ha stabilito nuovi standard per le postazioni di guida dei locomotori in servizio transfrontaliero

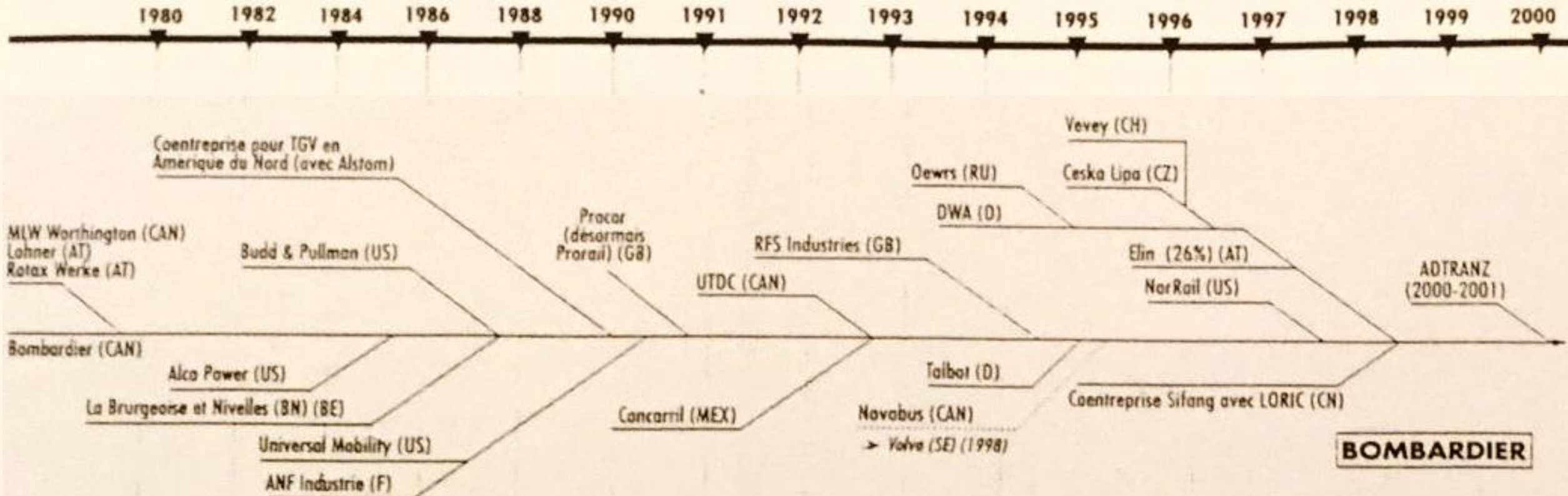
Il processo di concentrazione dell'industria ferroviaria



ADtranz

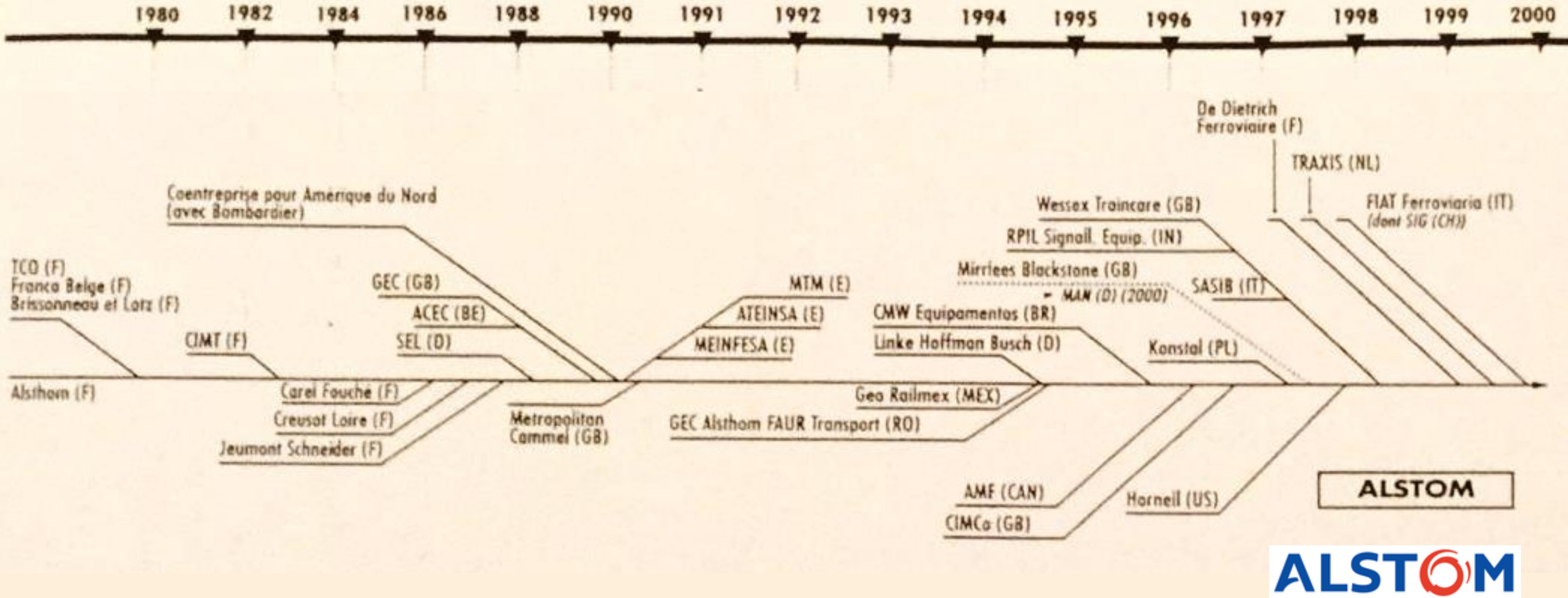
we speak railways

Il processo di concentrazione dell'industria ferroviaria

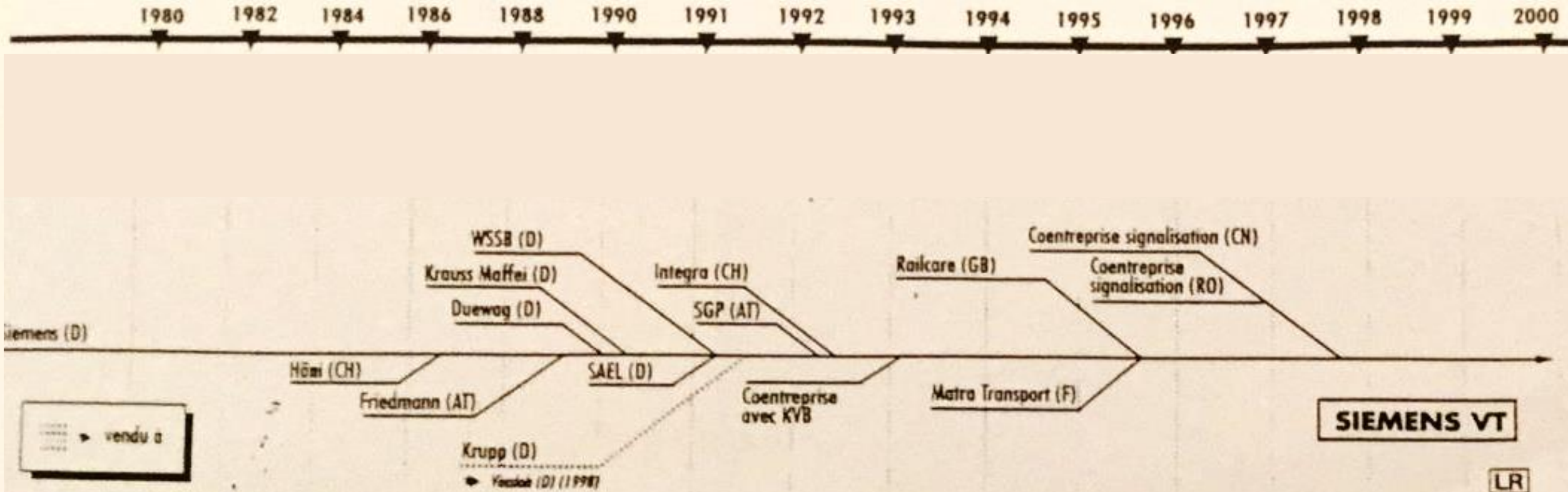


BOMBARDIER

Il processo di concentrazione dell'industria ferroviaria



Il processo di concentrazione dell'industria ferroviaria



SIEMENS



Il processo di concentrazione dell'industria ferroviaria

Adtranz	
 ADtranz we speak railways	
Stato	 Germania
Fondazione	1° gennaio 1996
Fondata da	ABB e Daimler-Benz
Chiusura	2001 - smembramento in Bombardier Transportation, Stadler Rail e Balfour Beatty Rail
Sede principale	Berlino
Gruppo	Daimler-Benz DaimlerChrysler
Settore	Trasporto
Prodotti	sistemi ferrottranviari
Dipendenti	22.000 (1996)
Slogan	«We speak railways»

Bombardier Inc.	
 BOMBARDIER	
Stato	 Canada
Forma societaria	Public company
Borse valori	<ul style="list-style-type: none"> Borsa di Toronto: BBD.B ↗ Borsa di Toronto: BBD.A ↗
ISIN	CA0977512007 ↗
Fondazione	1942 a Valcourt
Fondata da	Joseph-Armand Bombardier
Sede principale	Montréal
Filiali	Bombardier Aerospace, Bombardier Transportation, Bombardier Capital, Bombardier Recreational Products
Settore	aviazione, trasporti
Prodotti	aeromobili, treni, tram
Fatturato	17.71 miliardi di USD (2011)
Dipendenti	65.400 (2011)
Slogan	«Moving forward responsibly ^[1] »
Sito web	www.bombardier.com ↗

Alstom	
 ALSTOM	
Stato	 Francia
Forma societaria	Société anonyme
Borse valori	Euronext: ALO ↗
ISIN	FR0010220475 ↗
Fondazione	1928
Sede principale	Parigi
Persone chiave	Henri Poupart-Lafarge , presidente-direttore generale
Settore	industria meccanica
Prodotti	costruzioni ferroviarie
Fatturato	6,9 miliardi di € (2015/2016)
Dipendenti	31.000 (marzo 2016)
Slogan	«We are shaping the future»
Sito web	www.alstom.com/ ↗

Siemens AG	
 SIEMENS	
Stato	 Germania
Forma societaria	Aktiengesellschaft
Borse valori	<ul style="list-style-type: none"> Borsa di Francoforte: SIE ↗ NYSE: SI ↗
ISIN	DE0007236101 ↗
Fondazione	1° ottobre 1847 a Berlino
Fondata da	Werner von Siemens
Sede principale	Monaco di Baviera
Persone chiave	Joe Kaeser, presidente e AD
Settore	Conglomerata
Fatturato	83,049 miliardi di € (2017)
Utile netto	6,046 miliardi di € (2017)
Dipendenti	372 000 (2017)
Slogan	«Ingenuity for life»
Sito web	www.siemens.com/ ↗

 AnsaldoBreda A Finmeccanica Company	Il 2 novembre 2015 è confluita nel Gruppo Hitachi	 HITACHI
--	---	---

Fonte: <https://www.wikipedia.org/>

Modern Electric Locomotives from Europe

Per poter varcare le frontiere tra i Paesi europei, **le locomotive devono essere interoperabili**, vale a dire devono poter funzionare con diverse tensioni ed essere dotate di un sistema di segnalamento ETCS, nonché di sistemi nazionali specifici.

In generale, gli operatori preferiscono dedicare le loro energie al servizio alla clientela e **delegare ai costruttori gli iter di omologazione, la manutenzione o la gestione dei ricambi**.

Le moderne locomotive sono dotate di un **sistema remoto di diagnostica**, che identifica i parametri di usura di ciascun componente e ne trasmette i relativi dati al centro di manutenzione. Ciò consente di ridurre i rischi, i tempi d'immobilizzo della locomotiva e i costi di manutenzione.

Per un **comfort** ottimale dei macchinisti, le **moderne cabine delle locomotive utilizzate nelle tratte a lunga percorrenza**, oltre a essere dotate di impianto d'aria condizionata e ad essere perfettamente isolate acusticamente, possono essere equipaggiate con numerose dotazioni e accessori sia per le donne che per gli uomini (toilette, letti, frigorifero, forno a microonde, etc.).

Modern Electric Locomotives from Europe

A partire dalla fine del 20° secolo sono stati costruiti locomotori politensione per servizio transfrontaliero e per poter circolare sia sulle linee storiche che sulle costruende linee AV/AC. Inizialmente sono stati trasformati dei locomotori esistenti per adattarli alla nuove esigenze. Le procedure di omologazione in ogni singola nazione sono durate diversi anni e non sempre si sono concluse con successo.

Solo da pochi anni sono state realizzate e omologate locomotive interoperabili modulari, che potrebbero lavorare anche in formazione doppia, multipla e push-pull.

Esempi significativi in tal senso sono i locomotori:

- **Bombardier TRAXX** (modularity philosophy of TRAXX platform)
- **Alstom Prima II** (flexible and multi-purpose platform for the whole European market)
- **Siemens Vectron** (modularity philosophy of Vectron platform) successore dei treni EuroSprinter

Fonte: www.railcolor.net e siti delle rispettive case costruttrici

Locomotiva ad azionamento elettronico modulare BOMBARDIER TRAXX Transnational Railway Applications with eXtreme fleXibility

1996

E.483



Interoperabilità: materiale rotabile Bombardier TRAXX

E.483

Locomotiva multisistema

Potenza : 4000 -6000 kW

Velocità: 140 km/h

Tensione di alimentazione:

15 kVac - 25 kVac

3 kVdc - 1,5 kVdc

e Diesel



Bombardier TRAXX sono locomotive modulari

costruite da Bombardier Transportation sia per treni merci che per treni viaggiatori dal 1996 ad oggi. Ha subito una profonda revisione tra il 2004 e il 2006.

Locomotiva ad azionamento elettronico modulare ALSTOM PRIMA II

2009



Interoperabilità: materiale rotabile Alstom PRIMA e PRIMA II

Locomotiva multisistema

Potenza : 6000 kW

Velocità: 140 km/h

Tensione di alimentazione:

15 kVac - 25 kVac

3 kVdc -1,5 kVdc



Prima è una famiglia di locomotive diesel e elettriche costruite da Alstom. La produzione è iniziata alla fine del 1990.

La seconda generazione Prima II è stata lanciata nel 2009 ed è di tipo modulare e riconfigurabile alle esigenze del cliente per tutta la loro vita.

Locomotiva ad azionamento elettronico modulare SIEMENS Vectron

2010

E 191

E 193



Interoperabilità: materiale rotabile Siemens Vectron

Locomotiva multisistema

Potenza : 5200 - 6400 kW

Velocità: 160 - 200 km/h

Tensione di alimentazione:

15 kVac - 25 kVac

3 kVdc - 1,5 kVdc

e Diesel

Vectron è una locomotiva riconfigurabile,
multiuso modulare Bo'Bo 'costruita da Siemens Mobility , destinata a
ripetere il successo delle locomotive EuroSprinter.

Sono state presentate alla fiera Innotrans 2010.



Locomotive ad azionamento elettronico con motori di trazione in corrente continua

Gruppo.N° costruite	V max omologata km/h	ANNO	Linea di trazione
E.444.117	200	1967	3 kV cc (4,3 MW)
E.444.005	180	1975	3 kV cc (5,1 MW)
E.632.066	160	1983	3 kV cc (4,2 MW)
E.633.151	130	1980	3 kV cc (4,2 MW)
E.652.176	160 → 120	1990	3 kV cc (4,2 MW)
E.491.019	140	1990	25 kV ca (3,4 MW)
E.492.006	160	1990	25 kV ca (3,4 MW)
E.464.728	160	2000	3 kV cc (3,4 MW) 1,5 kV cc (3,4 MW)

Locomotive ad azionamento elettronico con motori di trazione in corrente alternata asincroni trifase

Gruppo.N° costruite	V max omologata km/h	ANNO	Linea di trazione
E.402A.046	220	1994	3 kV cc (6 MW)
E.402B.080	220	1998	3 kV cc (6 MW) 1,5 kV cc (3 MW) 25 kV ca 50Hz (6 MW)
E.412.020	200	1999	3 kV cc (6 MW) 1,5 kV cc (2,7 MW) 15 kV ca 16,7Hz (5,5 MW)
E.404.061	300	1990	3 kV cc (8,8 MW) 1,5 kV cc (4,4 MW) 25 kV ca 50Hz (8,8 MW)

https://it.wikipedia.org/wiki/Lista_dei_rotabili_italiani

Locomotive politensione ad azionamento elettronico con componenti modulari interoperabili

Costruttore Gruppo	V max (km/h)	ANNO	Potenza	Linea di trazione
Bombardier TRAXX	140	1996	4 – 6 MW	c.c. o c.a. o Diesel
ALSTOM PRIMA II	140	2009	6 MW	c.c. o c.a.
SIEMENS Vectron	160 - 200	2010	5,2 – 6,4 MW	c.c. o c.a. o Diesel

Storia dei treni a Verona

L'Officina ferroviaria di Verona Porta Vescovo

GRAZIE PER L'ATTENZIONE