

I pomeriggi della trazione elettrica

*Pomeriggio di formazione di ingegneria ferroviaria
"Evoluzione storica della trazione elettrica in Italia"*

(A cura del Dott. Ing. Alessandro RIGUCCI*)

Alla fine del XIX secolo si cominciano a percepire i vantaggi legati all'elettrificazione del trasporto ferroviario in luogo della trazione a vapore; effettuando un salto temporale in avanti di circa trent'anni si giunge al 1928, anno in cui viene attivato per la prima volta in Italia, sulla linea Benevento-Foggia, il servizio regolare a trazione elettrica 3 kV corrente continua (cc).

mosse dal gruppo Giovani di Roma (tra le altre: ricerca storica, gestione della mailing list, supporto alla gestione del sito web del CIFI, organizzazione di seminari e visite tecniche) sono rivolte ai Soci di tutte le età e la diffusione della tecnica ferroviaria offre motivo di grande soddisfazione per il raggiungimento di uno degli scopi che il Collegio si prefigge.

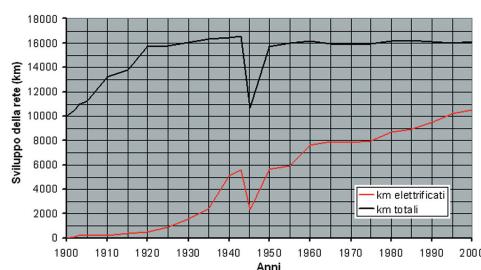


Fig. 1 - Grafico dello sviluppo della rete ferroviaria totale ed elettrificata nel XX secolo.

Prendendo spunto da queste due circostanze è stato organizzato dal CIFI Giovani il primo di un ciclo di tre pomeriggi di formazione di ingegneria ferroviaria dedicati alla "Trazione elettrica in Italia" che ha avuto luogo presso la sede del CIFI di Roma il giorno martedì 17 aprile 2007. Questo seminario riguardava l'evoluzione storica dell'elettrificazione ferroviaria in Italia dal 1900 al 2000. Il Presidente della sezione CIFI di Roma Ing. Marcello SERRA ha presentato l'evento sottolineando che le iniziative pro-

e tecnico di grande valore.

Nel corso del pomeriggio, l'Ing. GUIDI BUFFARINI ha descritto lo sviluppo e l'evoluzione dell'elettrificazione ferroviaria in Italia, in particolare per quanto riguarda gli impianti fissi, dividendo la trattazione in due parti: nella prima ha svolto una sintesi storica dello sviluppo, nella seconda una sintesi dell'evoluzione tecnica nelle elettrificazioni 3 kV cc [1].

Sintesi storica dello sviluppo

Fino ai primi anni '50 del XX secolo l'analisi dei vantaggi e degli svantaggi della trazione elettrica (TE) veniva svolta effettuando il confronto con la trazione a vapore. I vantaggi principali sono i seguenti:

1. maggior rapporto potenza/peso locomotive;
2. assenza di emissioni di fumo;
3. minore consumo energetico primario;
4. minore inquinamento perché l'energia elettrica è ottenibile anche da fonti rinnovabili;
5. minori costi per la manutenzione delle locomotive, per il personale di condotta e per l'energia;
6. maggiori accelerazioni e quindi maggiori velocità commerciali a parità di velocità massima.

Alcuni dei suddetti vantaggi si hanno anche nei confronti della trazione diesel. L'elettrificazione com-

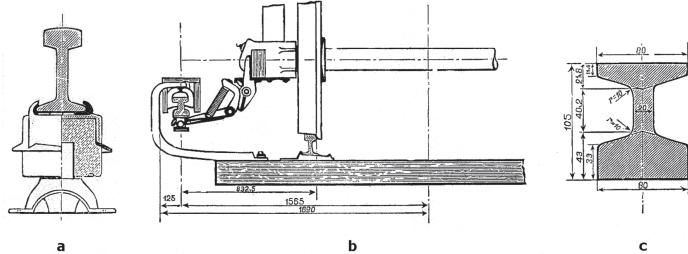


Fig. 2 - a) Particolare dell'isolatore portante la terza rotaia a presa superiore - b) Dettaglio della terza rotaia a presa inferiore fissata su traversa e del pattino di presa corrente dell'elettromotrice - c) Sezione trasversale della terza rotaia a presa inferiore.

(*) Segretario della Sezione di Roma del CIFI.

VITA DEL CIF

porta però una forte spesa d'investimento e deve essere garantita una soglia minima di traffico per ottenerne una convenienza economica, limitata inoltre dai vincoli e dai limiti imposti sia dal trasporto dell'energia elettrica sia dal suo utilizzo a bordo delle locomotive.

viarie elettrificate ha subito una svolta decisiva tra il 1935 ed il 1940 (fig. 1) e, dopo le distruzioni della seconda guerra mondiale, si è dato di nuovo impulso all'adozione della TE attualmente adottata su circa il 70% delle reti, sulla quale si svolge circa il 95% del traffico totale.

Gli esperimenti di TE vennero svolti stabilendo accordi molto rigidi con la Società Concessionaria che si accollava interamente il rischio d'impresa: solo in caso di successo della sperimentazione lo Stato acquisiva gli impianti a distanza di un anno. In caso contrario la Società era obbligata

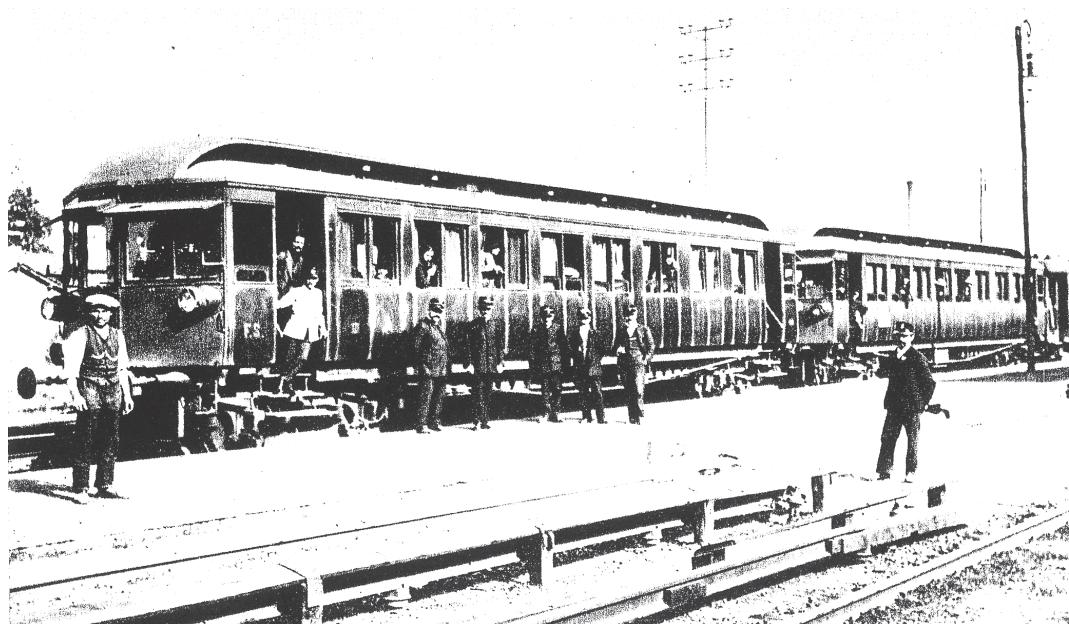


Fig. 3 - Automotrici elettriche del gruppo E.15 in servizio sulle linee Varesine (1901).

Dopo una rapida descrizione dell'architettura complessiva di un sistema TE, l'attenzione si è soffermata sui criteri di scelta di tale sistema. La scelta è legata alla compatibilità tra le soluzioni possibili ed ottimali, relative alle singole operazioni che si effettuano sull'energia elettrica: acquisizione, conversione, distribuzione. Nel corso del XX secolo il progresso tecnologico ha prodotto, per ciascuna operazione, un ampliamento delle soluzioni ed una riduzione dei vincoli tecnici. Ma spesso la scelta del sistema TE è vincolata al sistema già adottato per le precedenti elettrificazioni, anche se al momento il sistema non è quello ottimale. Lo sviluppo delle linee ferro-

Nel 1897 una Commissione governativa decise di realizzare quattro esperimenti di TE: due di trazione ad accumulatori sulla Milano-Monza e sulla Bologna-S.Felice, ben presto abbandonati; uno di trazione a cc sulle linee Varesine; uno di trazione in corrente trifase sulle linee della Valtellina. Lo scopo dichiarato era quello di rendere meno costoso l'esercizio di ferrovie a traffico limitato, pur soddisfacendo maggiormente le esigenze del pubblico con la separazione del servizio viaggiatori da quello merci e con il maggior numero possibile di corse giornaliere svolte con convogli di bassa composizione, cosa che non risultava possibile con la trazione a vapore [2][3].

ta a smantellare quanto installato; tutto ciò avveniva in virtù del clima di diffidenza con il quale la sperimentazione della TE conviveva.

I motori adatti alla TE in ambito ferroviario, che sono stati subito proposti per la propulsione elettrica, sono: il motore asincrono trifase e il motore a collettore in cc. Di conseguenza il sistema di alimentazione doveva costituirsì di tre conduttori (due fili di contatto più la rotaia) nel caso di scelta del motore asincrono trifase o di due conduttori (un filo di contatto più la rotaia) nel caso di scelta del motore a collettore in cc. Nei primi anni del XX secolo il motore a collettore ad eccitazione serie alimentato in cc, grazie alla sua caratte-

VITA DEL CIF

ristica meccanica decrescente con la velocità, ben si prestava alle caratteristiche di trazione che necessitavano di alte coppie all'avviamento e di un'ampia zona in cui il prodotto cop-

(fig. 2) [5]. Il materiale rotabile era composto da elettromotrici (fig. 3) con 70 posti, 2 carrelli, ciascuno con 2 motori da 55 kW; l'esercizio, svolto inizialmente con 7 coppie di treni

Valtellina ebbe inizio il 15 Ottobre 1902. Le linee interessate furono la Lecco-Colico di 39 km, la Colico-Sondrio di 41 km e la Colico-Chiavenna di 27 km. L'impianto idroelettrico di



Fig. 4 - Linea di contatto trifase a sospensione trasversale con pali di sostegno tubolari e locomotive E.432 in sosta presso la stazione di Bologna Centrale (1930 circa).
(fonte Archivio FS)

pia per velocità si mantenesse quasi costante. Tuttavia la tensione massima applicabile ai motori era di 650 V, per motivi d'isolamento e di difficoltà di commutazione; analogo problema presentavano le convertitrici ca/cc di sottostazione (SSE); la resistenza e l'usura degli ingranaggi di riduzione di velocità, per potenze superiori ai 100 kW, destavano non poche preoccupazioni. Pertanto tale sistema di TE era idoneo solo per carichi di trazione limitati: un treno sembrava poco più di un tram [4].

L'elettrificazione delle linee Varesine ebbe inizio il 16 Ottobre 1901 e interessò le tratte Milano-Gallarate (40 km a doppio binario) e Gallarate-Varese-Porto Ceresio (38 km a semplice binario); l'energia era fornita dalla centrale termoelettrica di Tornavento equipaggiata con 3 gruppi da 750 kW; il trasporto dell'energia avveniva mediante linea trifase a 12 kV; le SSE erano 5 dotate di convertitrici ca/cc rotanti da 500 kW con uscite a 650 V che alimentavano la linea di contatto costituita da terza rotaia

giornaliero, passò subito dopo a 19 coppie, attuando contemporaneamente un ribasso delle tariffe; il traffico merci era scarso ed effettuato con trazione a vapore.

Rispetto al motore a collettore in cc, il motore asincrono a campo rotante si presenta robusto, affidabile e con ottime caratteristiche di coppia. Esso è più leggero e meno ingombrante a parità di potenza; presenta meno problemi di manutenzione per l'assenza di spazzole e collettore; la tensione massima applicabile era superiore ai 3 kV, senza problemi d'isolamento e di commutazione. Di contro necessitava di una linea di contatto bifilare, con conseguenti complicazioni costruttive e limitazioni di velocità; presentava una notevole rigidità di funzionamento con poche velocità fisse di marcia, inizialmente soltanto 2; era inoltre necessaria una frequenza di alimentazione ridotta a 1/3 rispetto a quella industriale, per attuare una trasmissione diretta senza ingranaggi.

L'elettrificazione delle linee della

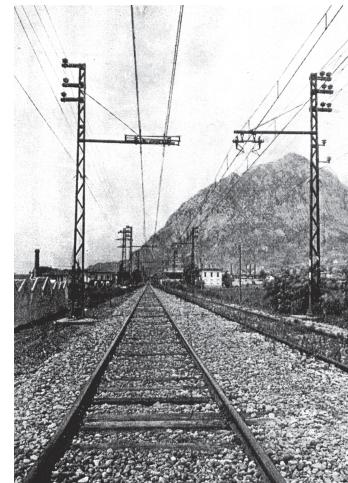


Fig. 5 - Linea di contatto trifase a sospensione longitudinale sulle linee della Valtellina (1931).

Morbegno, dotato di 3 gruppi da 1000 kW, 15 Hz forniva l'energia, trasportata mediante linea trifase a 22 kV, sugli stessi pali in legno della linea di contatto, necessaria per alimentare 9 SSE, dotate di trasformatori 22 kV/3 kV da 450 kVA. La catenaria, a 3 kV 16,7 Hz con sospensione trasversale, era bifilare e formata da fili in rame con sezione di 50 mm². Il materiale rotabile era composto da elettromotrici a 2 carrelli, ciascuno dotato di 2 motori da 150 HP, velocità fisse di 64 e 32 km/h; locomotori a 4 assi, utilizzati per i convogli merci, ciascuno con motore da 250 HP e velocità unica di 32 km/h. Considerata la notevole affidabilità, l'esercizio presentò un progressivo aumento del numero di corse e di viaggiatori.

Tra i due sistemi sperimentati, il trifase era quello che forniva la potenzialità necessaria consentendo anche il recupero, vantaggio importante per una linea acclive. Dopo il 1905, per risolvere il problema della congestione del traffico merci dal porto di Genova, si decise l'elettrificazione della linea

VITA DEL CIF

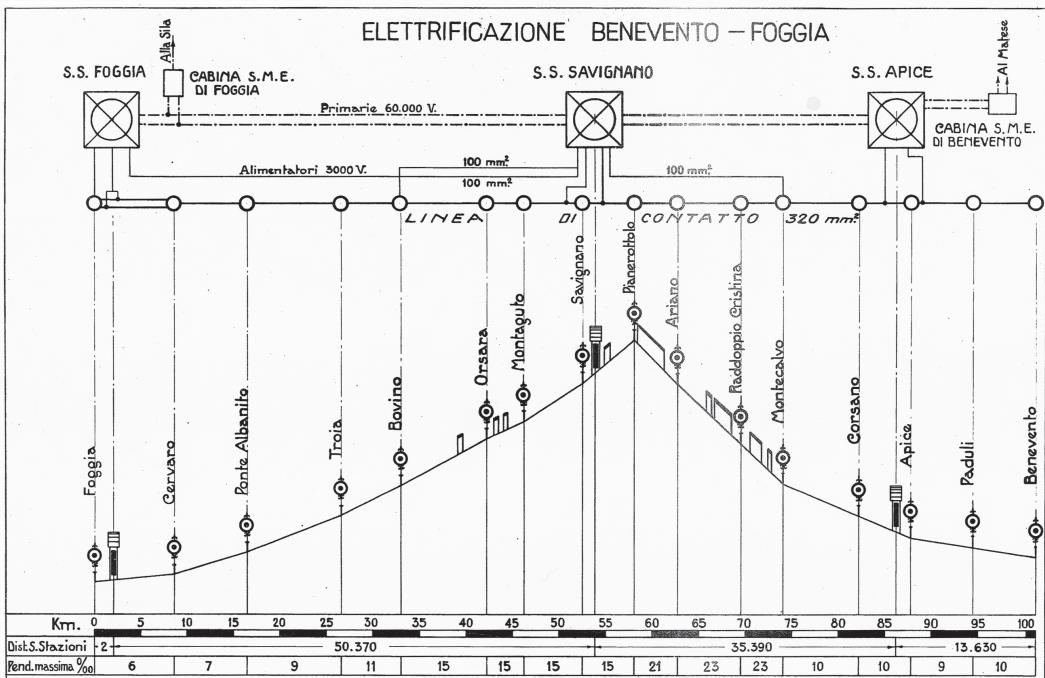


Fig. 6 - Profilo altimetrico e schemi di alimentazione impianti TE della linea Benevento-Foggia (1927).

dei Giovi. In Svizzera e successivamente anche in Austria si adottò la TE monofase a frequenza ridotta, soluzione scartata in Italia per i problemi di commutazione del motore a collettore. I difetti della TE trifase (velocità fisse e linea di contatto bifilare) avevano poco peso per il traffico merci sui Giovi e sulle linee di valico in genere. Tale sistema si sviluppò soprattutto dal 1910 al 1930, periodo durante il quale furono elettrificate oltre 2000 km di linee. Nel 1960 iniziarono le trasformazioni a 3 kV cc della rete trifase che furono completate nel 1976 [6]. Le SSE per il sistema TE trifase erano alimentate a 60 kV, distanziate di 15-20 km e dotate di 2 o 3 gruppi di trasformazione da 500 kVA. La linea di contatto era dotata di sospensione di tipo trasversale, con campate di 30-35 m, per velocità fino a 50 km/h (fig. 4), mentre, per velocità sino a 100 km/h in piena linea all'aperto, la sospensione era longitudina-

le (fig.5); i pali di sostegno della linea di contatto erano in genere tubolari di acciaio; i fili di contatto, inizialmente uno da 50 mm² per fase, erano 2 per fase da 100 mm² ciascuno.

Alla fine degli anni 20 in Italia si dovette prendere atto che il sistema trifase era inadeguato e penalizzante soprattutto per il trasporto viaggiatori, a causa delle velocità fisse e limitate a 100 km/h. Nel frattempo era possibile disporre di motori a 1500 V cc con ingranaggi affidabili anche per potenze elevate; negli Stati Uniti venne sviluppato un convertitore statico ca/cc a vapori di mercurio ed anche realizzato un interruttore extrarapido per cc, entrambi utilizzabili con tensioni di oltre 3 kV. Pertanto nel 1927-28 fu realizzato con successo, in via sperimentale, un sistema TE a 3 kV cc elettrificando la linea Benevento-Foggia (fig. 6) per il quale fu realizzata ad Apice la prima SSE equipaggiata con un raddrizzatore statico a va-

pori di mercurio (figg. 7 e 8), oltre a gruppi convertitori rotanti (motore sincrono e due dinamo da 1500 V con le uscite collegate in serie) presenti per prudenza (fig. 9).

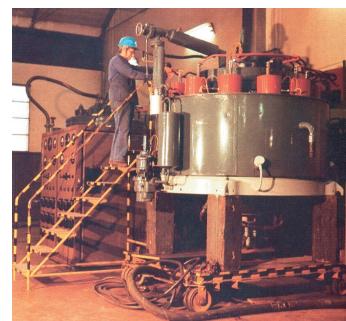


Fig. 7 - Raddrizzatore statico a vapori di mercurio in manutenzione a Bologna.

Nel 1930 fu decisa l'adozione del sistema 3 kV cc per tutte le elettrifi-

VITA DEL CIF

cazioni successive, salvo alcuni completamenti in corrente trifase. Lo standard dimensionale ordinario per il nuovo sistema fu stabilito con lungimiranza e fece fronte senza proble-

mi alle esigenze del traffico ferroviario per oltre 30 anni. Caratteristiche salienti delle SSE: passo medio di 40 km; 2 gruppi raddrizzatori a vapori di mercurio da 2000 kW in classe C (so-

vraccarico del 50% per 2 ore e del 200% per 5 minuti). Linea di contatto: sezione complessiva di 320 mm², sospensione longitudinale con 2 fili di contatto da 100 mm², con tiro regolato automaticamente, e una fune portante da 120 mm² (fig. 10).

L'Ing. GUIDI BUFFARINI a conclusione della prima parte del suo intervento, ha prima citato l'esperimento, senza seguito, realizzato sulla linea Roma-Avezzano-Sulmona con sistema TE trifase a 50 Hz, con linea di contatto a 11 kV e poi ha brevemente accennato la storia della linea Roma-Napoli via Cassino: nata a doppio binario, distrutta durante la seconda guerra mondiale, ricostruita dagli Alleati nel Dopoguerra a semplificato binario ed infine raddoppiata ed elettrificata negli anni 70.

Intermezzo

Dopo una breve pausa, ha preso la parola l'Ing. Guido GUIDI BUFFARINI (fig. 11), Responsabile U.O. Energia ed Impianti TE di Italferr, accennando al nuovo sistema TE 2x25 kV ca monofase adottato sulle nuove linee AV/AC già attivate ed in via di attivazione. Dopo una rapida panoramica sull'architettura e sul dimensionamento delle nuove SSE, è stato proiettato un filmato molto interessante, realizzato alcuni anni fa da Italferr Sis. Tav. Esso riguardava la sperimentazione della nuova tipologia di linea di contatto, adottata sulle linee AV, effettuata sulla Direttissima Roma-Firenze mediante corse prova a bordo di un ETR500 attrezzato con strumenti di misura della qualità della captazione del pantografo (fig. 12).

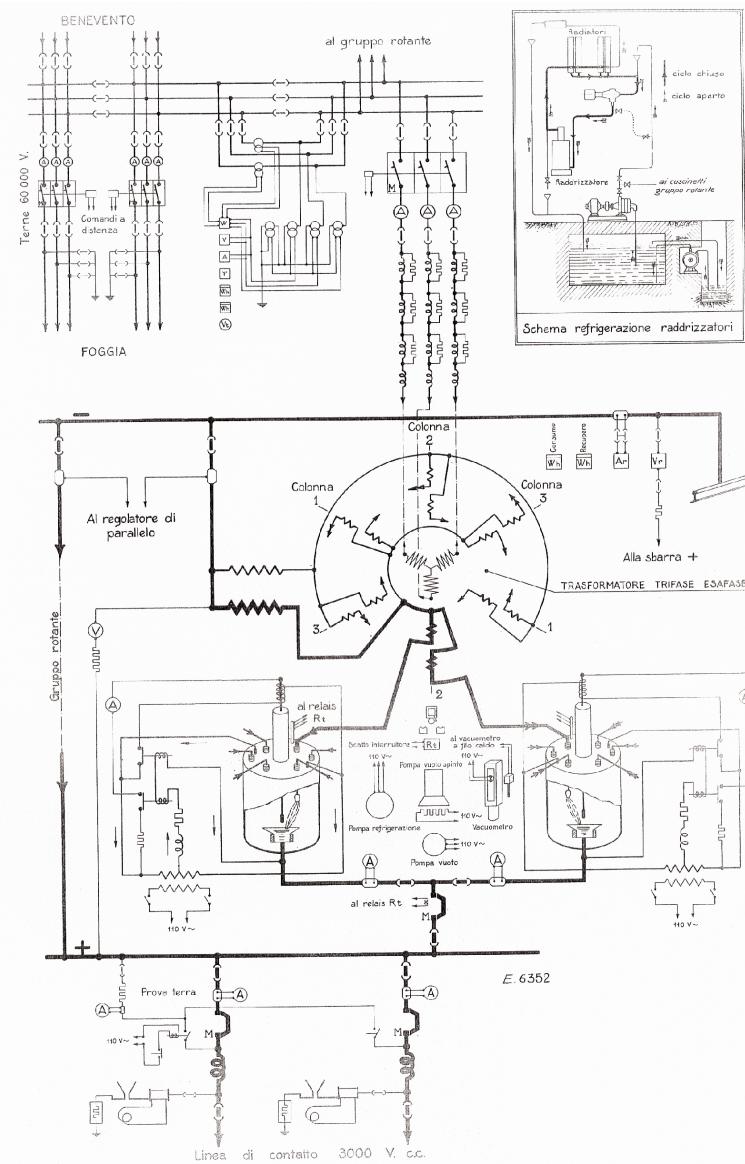


Fig. 8 - Schema di massima della SSE di Apice equipaggiata con raddrizzatore statico a vapori di mercurio e gruppi convertitori rotanti (1927).

VITA DEL CIF

Sintesi dell'evoluzione tecnica nelle elettrificazioni 3 kVcc

Nella seconda parte del pomeriggio ha preso di nuovo la parola l'Ing. Giuseppe GUIDI BUFFARINI descrivendo, in sintesi, l'evoluzione tecnica subita dalle varie componenti degli impianti fissi di alimentazione nel corso degli anni alla luce dello sviluppo del sistema TE a 3 kV cc.

Riguardo alla produzione e l'approvvigionamento di energia elettrica per la trazione, il relatore ha menzionato gli impianti di produzione delle *Ferrovie dello Stato*, trasferiti nel 1964 all'ENEL con la nazionalizzazione: gli impianti idroelettrici del Sagittario (Sulmona), l'impianto di Suviana (Bologna), l'impianto di Bressanone, gli impianti del Fundres e del Valles (Bolzano) e di Monastero (Sondrio). Una descrizione più dettagliata è stata dedicata agli impianti geotermoelettrici di Larderello, primo esempio del genere nel mondo (Grosseto - 250 MW totali - funzionamento h24), che sfruttano il calore prodotto dai soffioni boraciferi presenti nell'area delle Colline Metallifere (fig. 13). Essi furono costruiti dal principe Richard GINORI-CONTI e rilevati successivamente al 70% dalle FS, che ottennero in seguito dal Governo la Concessione per lo sfruttamento di questa energia. Altri tipi di impianti citati sono stati i gruppi convertitori, necessari per adattare le diverse frequenze adottate sulla rete primaria (42 Hz nel Nord-Italia e 45 Hz nel Centro-Sud) con la frequenza a 50 Hz della rete FS. Dopo essere stati distrutti durante la se-

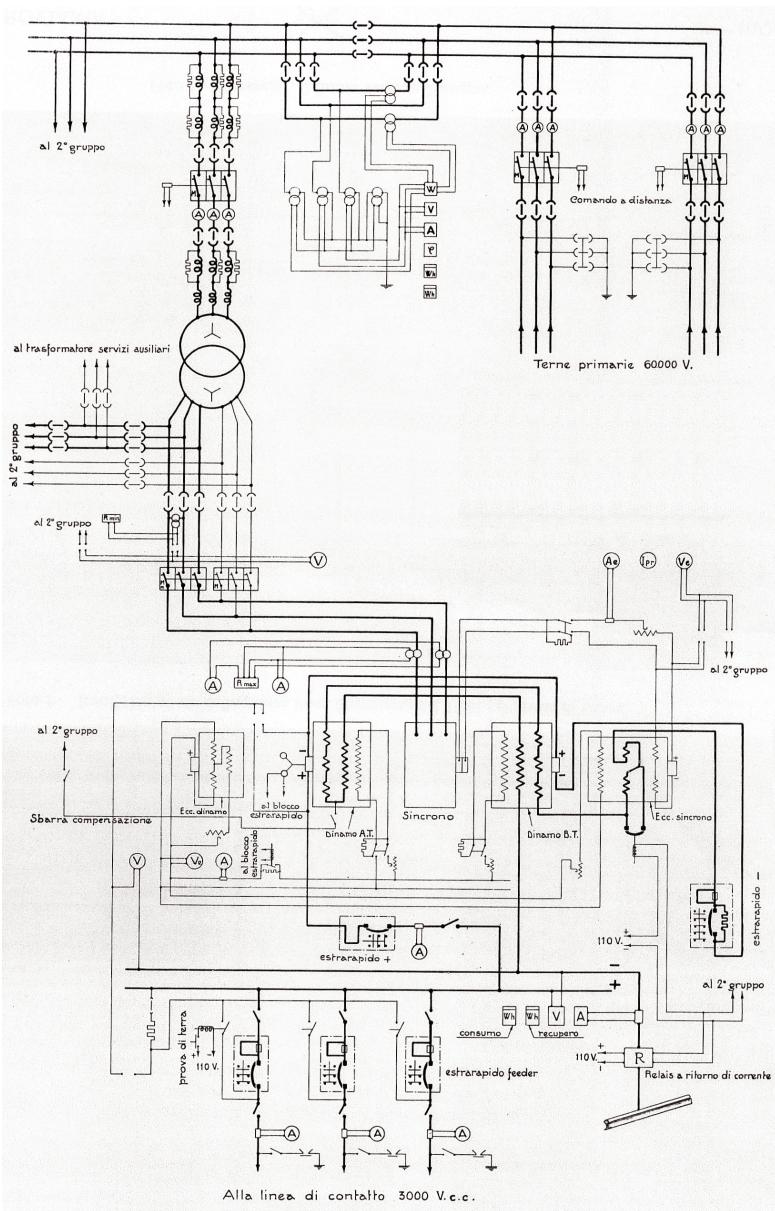


Fig. 9 - Schema di massima della SSE di Foggia equipaggiata con gruppi convertitori rotanti (1927).

conda guerra mondiale, non furono in seguito ricostruiti per la sopravvenuta unificazione della frequenza a 50 Hz. La rete primaria di trasporto dell'energia non fu nazionalizzata; le FS disponevano negli anni '60 di una

VITA DEL CIF



Fig. 10 - Linea di contatto del sistema TE a 3kV cc presso la stazione di Pianoro lato Bologna della linea DD Bologna-Firenze (1939). Particolare del sezionatore a spazio d'aria della comunicazione pari-dispari che garantisce una separazione anche meccanica delle linee.

rete di linee primarie trifase di 6000 km a 130 kV (150 kV nel Sud) e una rete di 4000 km a 60 kV 16 2/3 Hz convertita via via a 50 Hz. Di particolare interesse è stata la descrizione della cosiddetta messa a terra del neutro, novità introdotta sempre negli anni '60. Prima dell'adozione di questa soluzione, in caso di guasto con una fase a terra, era possibile la formazione di archi o sovrattensioni intermittenti che producevano guasti anche a notevole distanza senza possibilità di avere una protezione selettiva adeguata. Con il "neutro a terra" le sovrattensioni si trasformavano in sovraccorrenti che, attraverso protezioni selettive distanziometriche, era possibile selezionare a beneficio dell'esercizio ferroviario. Per far fronte all'aumento delle correnti di corto circuito in caso di fase a terra si rese necessaria l'introduzione di interruttori con potere di rottura più elevato, passando successivamente da tipologie a pieno volume d'olio a più mo-

per il trasporto, il carico e lo scarico dei trasformatori, la gru non venne più utilizzata.

Il cuore del sistema a 3 kV cc, fino agli anni '60, era rappresentato dai raddrizzatori a vapori di mercurio (fig. 7). Essi erano costituiti da una cassa metallica sotto vuoto, refrigerati ad acqua circolante in apposite intercapedini; erano esafasi, alimentati da trasformatori con secondario a stella e forche; avevano un rendimento molto elevato e buona capacità di sovraccarico; soggetti, specie in caso di vuoto insufficiente, a corto-circuiti interni (archi di ritorno detti "calci") contro i quali furono dotati di griglie polarizzabili; erano caratterizzati da complessità e fragilità dei dispositivi accessori; era necessario un periodo di "formazione" (eliminazione dei gas e dell'umidità all'interno) prima della messa in servizio; dovevano essere sottoposti a revisione periodica ("apertura"), operazione che si rivelava piuttosto complicata.

derne a volume d'olio ridotto o ad aria compressa e, in epoca più recente, ad interruttori in esafluoruro di zolfo.

I fabbricati delle SSE erano caratterizzati da un reparto a 130 kV con i trasformatori installati all'aperto. Sino al 1939 il fabbricato si presentava a due piani, con annesso fabbricato gru, magazzino e ricovero carrelli. Una siffatta struttura era necessaria per il contenimento, al piano terra, delle apparecchiature per la refrigerazione dei raddrizzatori. Successivamente, con l'impiego di carri speciali

Nel 1947 furono introdotti i raddrizzatori ad aria soffiata mediante ventilazione forzata caratterizzati da minore ingombro e ciò consentì di concentrare il tutto in un solo fabbricato ad un piano. Nel 1954 l'introduzione dei raddrizzatori ad ampolle sigillate produsse una notevole semplificazione funzionale grazie all'eliminazione delle pompe per il vuoto.

Un salto decisivo di funzionalità e semplicità delle SSE a 3kV cc si ebbe nei primi anni '60 con l'introduzione



Fig. 11 - Gli Ingg. Giuseppe (a sinistra) e Guido GUIDI BUFFARINI durante l'intermezzo del seminario.

dei gruppi raddrizzatori statici al silicio esafasi. I pregi di questo tipo di convertitore sono numerosi: il trasformatore è più semplice ed economico, con secondari a triangolo (schema a ponte di Graetz); è sufficiente il raffreddamento naturale, purché l'ambiente sia ampio e ventilato; l'uso iniziale di fusibili rapidi venne superato dalla disponibilità di diodi di maggiore portata. Gli standard adottati per tali gruppi erano 3,6 e 5,4 MW, con sovraccaricabilità del 100% per 2 ore e del 200% per 5 min.

La tensione generata dal raddrizzatore esafase contiene la 6^a armonica e le sue multiple di ampiezza via via decrescente (300 Hz, 600 Hz, 900 Hz, 1200 Hz, etc.), le quali disturbano le comunicazioni telefoniche che passano nei cavi posati lungo la linea. Per ridurre tali disturbi già nelle elettrificazioni degli anni 30 furono introdotti dei filtri periodici costituiti da quattro complessi induttanza e condensatore in serie derivati in parallelo dalla sbarra 3 kV, risonanti su

VITA DEL CIF

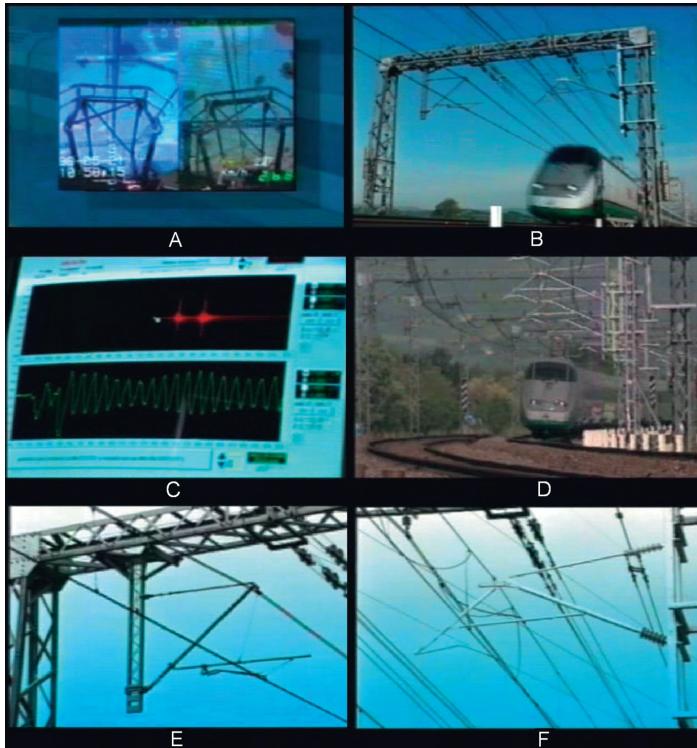


Fig. 12 - Alcuni fotogrammi tratti dal filmato proiettato: A) Pantografi in presa - B) So-stegno a portale con le due tipologie di mensole adottate: AV tipo MEC preesistente (a sinistra) e AV innovativa (a destra) - C) Monitoraggio della qualità della captazione - D) ETR500 in corsa prova sulla DD Roma-Firenze - E) Dettaglio della mensola AV tipo MEC - F) Dettaglio della mensola AV innovativa.

ciascuna delle quattro armoniche suddette; tale scelta provocava sovravoltazioni durante i transitori che diedero origine ad incendi dei condensatori ad olio. A partire dagli anni '50, su proposta dell'ing. Giacomo Musso, fecero la loro comparsa i filtri aperiodici passa basso ad L (induttanza serie e capacità in parallelo) con frequenza di taglio di circa 100 Hz.

Negli anni '80 si manifestò la necessità di diminuire le armoniche di corrente, che i gruppi esafasi immettevano lato primario (5^a, 7^a, 11^a, 13^a, etc. con ampiezza decrescente), responsabili, negli impianti alimentati dalla SSE, di surriscaldamenti dei motori e disturbi nelle reti di telecommunicazione adiacenti alle linee di contatto. Il problema venne risolto

costruendo i due avvolgimenti secondari del trasformatore, anziché ambedue a triangolo, uno a triangolo e l'altro a stella; in tal modo si ha una reazione dodecafase che consente di eliminare la 5^a e la 7^a armonica, che sono quelle di ampiezza maggiore, ed attenuare sensibilmente le armoniche successive. I gruppi da 5,4 MW vennero muniti di com-

mutatore sottocarico per la regolazione della tensione [7].

Per la protezione dai corto-circuiti di linea vennero adottati gli interruttori extrarapidi (IR), in aria, muniti di soffio magnetico che costringe l'arco ad allungarsi e a spegnersi all'interno di un apposito caminetto realizzato in materiale isolante (fig. 14). I corto-circuiti sulla linea di contatto sono spesso transitori; per evitare ripercussioni sull'esercizio, è stato necessario attuare l'autorichiusura automatica degli interruttori, previa



Fig. 13 - Fori di alimentazione centrale presso Larderello (1916) (fonte www.enel.it).

"prova terra" eseguita alimentando la linea tramite apposito contattore e resistenza limitatrice.

Altro problema tipico delle SSE a 3kV è la discriminazione tra correnti di carico e di corto-circuito lontano; tale problema si presenta tipicamente nel caso di alimentazione bilaterale

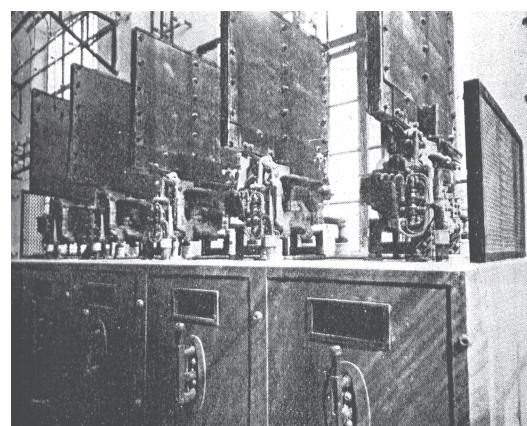


Fig. 14 - Interruttori extrarapidi della SSE di Foggia sulla linea Benevento-Foggia (1927).

VITA DEL CIFI



Fig. 15 - Pali di sostegno tipo LS sulla linea Roma-Napoli via Formia (2007).

della linea: in caso di guasto prossimo ad una delle SSE, l'IR più vicino ovviamente si apre, mentre l'IR più lontano è percorso da una corrente relativamente bassa. Per evitare aperture intempestive di quest'ultimo si dotarono tutti gli IR di "shunt magnetico" sensibile al gradiente di accrescimento della corrente; tale soluzione divenne inadeguata con l'aumento dei carichi richiesti dalle locomotive. Per risolvere tale problema furono creati dapprima i posti di sezionamento automatici (PSA) e, successivamente, installati nelle SSE dei dispositivi di asservimento tra IR limitrofi, integrati anche da relè di minima tensione. L'ultima generazione di SSE beneficia dell'adozione della logica computerizzata che consente una discriminazione valida e sicura delle correnti di guasto [8].

Fino agli anni '60 gli standard principali delle linee di contatto per il sistema TE a 3 kV cc sono rimasti sostanzialmente inalterati: sospensione longitudi-

nale su pali tubolari di acciaio tipo Mannesman; fune portante in rame da 120 mm², tesata a 350 daN; due fili di contatto in rame sagomati da 100 mm², con tiro regolato automaticamente a 750 daN ciascuno; lunghezza delle tratte di regolazione pari a 1200 - 1400 m; portali per i sezionamenti a spazio d'aria ai lati delle

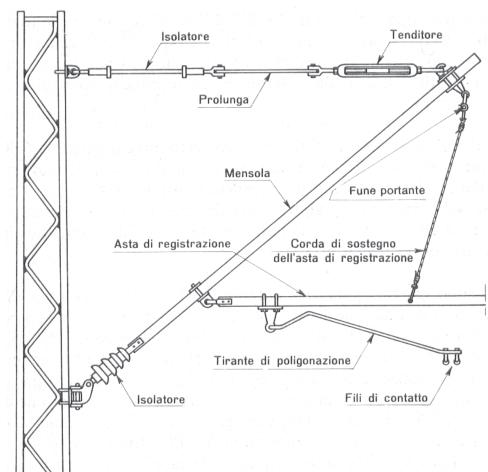


Fig. 16 - Schema della mensola AV tipo MEC installata in passato sulla DD Roma-Firenze.

stazioni. Per consentire velocità superiori ai 140 km/h gli standard suddetti subirono una naturale evoluzione, tra gli altri: regolazione del tiro anche della fune portante su 1375 daN e su 1000 daN quello dei fili; freccia dei fili più bassa a centro campata dell'1% per compensare le spinte del pantografo; regolazione su tre campate anziché due; impiego di isolatori a bastone in vetro-resina e teflon, in luogo dei ceramici, questi ultimi soggetti spesso a folgorazione in particolare sulle linee prossime al mare per la formazione dello strato salino umido. Nel 1962 furono introdotti i pali LS (fig. 15) per la piena linea dotati di elevata resistenza in senso trasversale ed una flessibilità modesta in senso longitudinale, al fine di ottenere una buona captazione.

Per l'elettrificazione della Direttissima Roma-Firenze, completata nel 1992, gli standard adottati per velocità d'esercizio fino a 250 km/h prevedevano: SSE con passo di 15-16 km, equipaggiate con 2 gruppi da 5,4 MW; linea di contatto da 460 mm² di sezione nel primo tratto, attivato nel 1977 (1 fune da 160 mm², tiro di 2750 daN; 2 fili da 150 mm², tiro di 1500 daN), nel resto 610 mm²; sospensioni con mensola a puntone inclinato e tirante orizzontale applicate a supporti penduli (figg. 16 e 12E); furono adottati sostegni a portale in modo da avere una maggiore rigidità trasversale e limitare le oscillazioni in senso verticale dei punti di sospensione della catenaria (fig. 12B). Questi portali furono inoltre incernierati alla base con l'intento da un lato di non trasmettere momenti alle fondazioni, dall'altro di non trasmettere alla linea di contatto eventuali vibrazioni. Nel 1999 iniziò il rinnovo di quest'ultima portando la sezione a 540 mm² (2 funi da 120 mm², tiro di 1500 daN; 2 fili da 150 mm², tiro di 1875 daN): l'aumento del tiro dei fili e la diminuzione del tiro delle funi consentì un miglioramento della captazione.

VITA DEL CIF

Dal 1970 si rese necessario adeguare tutti gli impianti di TE delle linee principali alle nuove esigenze di esercizio sostituendo sistematicamente i gruppi a vapori di mercurio con gruppi al silicio, costruendo SSE intermedie portando il passo medio a 20 km e aumentando la sezione della linea di contatto a 440 mm² (2 funi da 120 mm², tiro di 1125 daN; 2 fili da 100 mm², tiro di 1000 daN) [9].

La protezione dalle sovratensioni atmosferiche viene effettuata con un livello d'isolamento della linea di contatto di 125 kV ad impulso. Dopo la sperimentazione senza successo negli anni 60 degli scaricatori di linea, dal 1963 in poi fu applicato, sulle linee più esposte, il cosiddetto "trefolo ce-raunico". Attualmente viene installato in alto uno dei due trefoli di terra. Sulle uscite degli alimentatori 3 kV, sin dagli anni '50 furono installati scaricatori a spinterometro e condensatore. Attualmente è stata sperimentata favorevolmente la sostituzione con scaricatori ad ossido di zinco.

Nelle ultime battute del seminario è stato affrontato brevemente il problema delle correnti disperse dai binari nel terreno responsabili delle corrosioni nelle strutture metalliche. I rimedi adottati "lato ferrovia" consi-

stono nella riduzione della resistenza longitudinale (mediante l'impiego di armamento pesante e recentemente della lunga rotaia saldata) e della dispersione verso terra del binario (utilizzando traverse in cap con suole isolanti), nonché mantenendo pulita la massicciata; "lato utenti del sottosuolo" le modalità per ridurre le corrosioni sono: sezionamenti isolanti nelle condotte, rivestimento delle stesse, protezioni catodiche, drenaggi naturali o forzati.

Solo un accenno infine è stato dato agli impianti di telecomando, introdotti negli anni '50, ripercorrendo brevemente le tappe della loro evoluzione tecnica.

A conclusione del pomeriggio ha preso la parola l'Ing. Giovannino CAPRIO, Dirigente FS a r. e Vice Presidente Area Centro del CIF, esprimendo parole di ringraziamento e di elogio nei confronti del relatore, evidenziandone le doti di umanità, di carattere e di grande competenza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] GUIDI BUFFARINI G. - *L'elettrificazione ferroviaria in Italia ha compiuto 100 anni*, Ingegneria Ferroviaria, settembre 2003.
- [2] AA.VV. - *Il Cinquantenario delle Ferrovie dello Stato*, Direzione Generale delle FS, 1955.
- [3] AA.VV. - *L'elettrificazione delle FS*, Ferrovie dello Stato, 1961.
- [4] MAYER L. - *Elettrificazione ferroviaria. Confronto fra sistemi di ieri, oggi e domani*, Ingegneria Ferroviaria, dicembre 1983.
- [5] CORINI F. - *Costruzione ed esercizio delle ferrovie II. Trazione elettrica* - 3^a ed., Unione Tipografico-Editrice Torinese, 1950.
- [6] CANTUTTI U. - *Il ciclo della trazione trifase in Italia si è concluso*, Ingegneria Ferroviaria, luglio-agosto 1976.
- [7] MAYER L. - *Impianti Ferroviari* - Vol. II, CIF, 2004.
- [8] CINIERI E. - FUMI A. - SPALVIERI C. - SALVATORI V. - *Nuove protezioni per linee di trazione elettrica a 3 kV cc*, Ingegneria Ferroviaria, maggio 2007.
- [9] FUMI A. - GUIDI BUFFARINI G. - MARTINI G. - *Sul dimensionamento degli impianti TE a 3 kVcc*, La Tecnica Professionale, marzo 2006.