

UNIONE ITALIANA DELLE FERROVIE D'INTERESSE LOCALE E DI TRAMVIE

Sede in Milano, Via S. Giovanni sul Muro, N. 25

LA

Trazione Elettrica sulle Ferrovie

III. MEMORIA

dell'Ing. A. CAMPIGLIO

Presidente dell'Unione Italiana delle Ferrovie d'Interesse locale e di Tramvie

ASSEMBLEA 30 GIUGNO 1907

MILANO

Stab. Tipo-Litografico L. ZANABONI e GABUZZI di LUIGI GABUZZI

Via Fontana, 12 — (Porta Vittoria)

1907

LA TRAZIONE ELETTRICA SULLE FERROVIE

Nella penultima *Memoria*, che ho compilata or sono tre anni, io ho preconizzato che la trazione elettrica sulle ferrovie in genere, avrebbe trovata la soluzione nell'applicazione della corrente monofase.

I fatti mi hanno dato ragione; e se le applicazioni non sono ancora molto numerose, ciò non deve indurre a credere che dubbia sia la convenienza dell'applicazione, ma la causa va ricercata in ciò che, come ogni nuovo sistema, anche il monofase è naturalmente suscettibile di miglioramenti e perciò, chiunque voglia applicare un sistema recente, cerca di farlo nelle migliori condizioni, si da non trovarsi, dopo breve lasso di tempo, con un macchinario antiquato è non perfettamente conformato alle migliori, delle quali forse una breve attesa gli avrebbe dato di poter fruire.

Non ultimo incaglio è la gravezza di una totale trasformazione. Questa non può essere fatta gradualmente, se non nel caso che una Amministrazione abbia un certo numero di linee, ma deve essere integrale se trattasi d'una linea sola.

I termini della questione non essendo mutati gran fatto da quelli che io avea riassunti, in base ad alcuni calcoli che si trovano nella mia *Memoria* sopracitata, giova richiamare anzitutto alla mente le conclusioni alle quali io ero venuto in riguardo al sistema monofase, per rapporto alla convenienza economica del medesimo, in confronto alla trazione a vapore.

Io ho in allora esaminato a quanto ammontassero, per ogni Treno-Kilometro, gli oneri fissi dipendenti da spese di primo impianto e spese costanti di esercizio, inerenti a cadaun sistema, in relazione al peso e più specialmente alla frequenza dei treni.

Avevo trovato allora che per una linea di 40 Kilometri di lunghezza, con pendenza fino al 20 ‰ la differenza di spesa, per

rispetto alla trazione a vapore, tenuto calcolo dell'interesse ed ammortamento della linea di trasporto dell'energia elettrica, e dato che la forza venga generata col carbone (valutato a L. 35 per tonn.), risulta per cadaun treno di 70 tonn. a velocità di 60 Kilometri all'ora, in via approssimata

| | | |
|------------------------------------|-----------|------------------------------|
| con corr. cont. e con terza rotaia | + L. 0,48 | per un esercizio di 6 coppie |
| » » » » | + » 0,30 | » » 9 » |
| » » » » | + » 0,16 | » » 15 » |
| » » » » | + » 0,11 | » » 20 » |

Ho desunto allora da calcoli, che con una generazione di energia a forza idraulica che venga a costare cent. 4,1 al Kilowatt-ora, invece di cent. 7,5 di costo valutato per la produzione a vapore, le differenze potevano essere cifrate come segue, per Treno-Kilometro, sempre per corrente continua e per linea con terza rotaja

| | |
|--------|---|
| + 0,38 | per Treno con esercizio di 6 coppie giornaliere |
| + 0,20 | » » » » » 9 » » |
| + 0,06 | » » » » » 15 » » |
| + 0,01 | » » » » » 20 » » |

Ho in quella *Relazione* determinate, in modo analogo, le spese per impianti fatti con sistema a corrente trifase, per il quale caso le cifre venivano man mano discendendo e determinando dei vantaggi, in certe condizioni in cui, colla corrente continua, si trovavano ancora degli oneri.

Ho da ultimo calcolata la differenza per il sistema monofase e per esso cifrai i risultati dei conteggi, rispetto al treno con locomotiva a vapore, come segue:

| | Con produzione di energia elettrica | | | | con esercizio di 6 coppie |
|---------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| | a vapore | | con forza idraulica | | |
| | Linea a doppia conduttura | Linea con un sol filo | Linea a doppia conduttura | Linea con un sol filo | |
| Per Treno-Km. | + 13 | (1) + 4 | + 3 | - 6 | con esercizio di 6 coppie |
| » » | + 7 | + 1 | - 3 | - 9 | » » 9 » |
| » » | + 2 | - 1 | - 8 | - 11 | » » 15 » |
| » » | - | - 2 | - 10 | - 12 | » » 20 » |

(1) È applicabile solo in casi in cui la centrale trovisi in posizione intermedia ai capi linea ed a distanza limitata.

Ho anche esaminato in quella *Relazione* a quanto potesse tradursi la perdita, che, per linee già in esercizio, si deve subire mettendo fuori di servizio, e realizzando a prezzo di materiale d'occasione, le locomotive a vapore; l'onere corrispondente mi risultò fra cent. 2 e 3 1/2 cent. per Treno-Kilometro.

Come si vede adunque, pur dovendo tener conto della perdita nella trasformazione del materiale d'esercizio, il monofase offrirebbe un beneficio anche per linee di poco traffico.

Da quando desunsi quelle cifre ad oggi, non si poterono raccogliere dati sperimentali che possano corroborare coll'eloquenza dei numeri, i calcoli da me fatti, sebbene i medesimi non avessero realmente bisogno di siffatta conferma, perchè non erano cifre puramente teoriche, ma solo risultanze numeriche di spese effettive di primo impianto, tradotte in oneri annuali per rapporto al numero maggiore o minore di treni in servizio, ritenendo applicabile ai vari sistemi la spesa di esercizio che si verifica colla trazione elettrica a corrente continua.

Questa ultima ipotesi può bensì lasciare una incertezza nel problema, ma chi non vede che l'esperienza non può che far variare in senso favorevole alla trazione elettrica con corrente monofase, le cifre da me esposte nella citata *Relazione*?

E infatti come non ammettere che manutenzione e rinnovamento di pali, fili, isolatori, devono diminuire se la linea è ridotta ad un unico filo di poco più di un centimetro di diametro?

Chi negherà che coi progressi fatti, e più che coi progressi, col dissiparsi delle eccessive apprensioni, si vada aumentando il potenziale nelle linee di trasporto e che ciò conduce ad una minor perdita di energia e quindi ad una migliore utilizzazione della forza, sia essa creata col carbone, sia idraulicamente? Pochi anni or sono si attivavano con esitazione trasporti di energia a 30/m volt di tensione; ora se ne fecero già a 40/m in Europa, senza lamentare inconvenienti che valgano a sconsigliarli, ed in America si andò molto più oltre, cioè a 60/m volt, e si fanno prove per tensioni ancora maggiori.

Ed è pure un fatto che negli impianti idraulici va prevalendo il concetto di utilizzazione delle forti cadute, di grandi centrali, con che le spese di produzione vengono sentitamente ridotte.

Più che altro adunque preoccupa, e giustamente mantiene incerti, lo scegliere bene fra i vari sistemi, ed a questo scopo io passerò in rassegna quanto si è fatto da due anni a questa parte, o per meglio dire, esporrò quanto ho potuto raggranellare sui vari impianti recentemente eseguiti.

Linea
del Borinage

Sulle ferrovie del Borinage l'impianto a trazione elettrica, fatto dalla Union Electricität Gesellschaft, col sistema Wynter-Eichberg, funziona, dall'aprile 1905, sopra 26 Kilometri di linee di traffico limitato, e la Società se ne dichiara soddisfatta.

Linea
Roma-Civita Castel-
lana

La linea Roma-Civita Castellana, benchè tramviaria, va pure noverata fra le ferrovie perchè ne ha tutti i caratteri. Ne ho già parlato nell'ultima *Relazione* facendovi semplicemente accenno; ora ne darò alcuni dati.

La linea misura 54 Kil. ha scartamento di 1.^m

L'impianto motore è a 4 Kil. da Roma. Vi si genera corrente alternata monofase a 600 volt per l'alimentazione della sezione urbana e corrente a 6000 volt e 25 periodi per la tratta extraurbana. Non vi sono sottostazioni.

La linea di contatto è costituita da un filo di rame da 8 mill. di diametro; il ritorno di corrente si fa per le rotaje.

I treni possono raggiungere il peso di 20 tonn. e sono formati da una vettura motrice pesante 12 tonn. a carico completo, e di un rimorchio di 8 tonn.

I motori sono da 40 HP del solito tipo Westinghouse. La linea funziona dal febbraio 1905.

Linea
Indianopoli-Cin-
cinnati

Linea di contatto a 3300 volt, a 25 periodi. I motori sono a collettore tipo Lamme e possono funzionare tanto a corrente alternata che a corrente continua.

La velocità dei treni è di 75 Kilometri all'ora, ma potrebbe spingersi a 90-100. — L'impianto fu pure fatto dalla Società Westinghouse.

Linea
Warren-Jamestown

È a sistema monofase con impianto elettrico fatto dalla Westinghouse. Ha solo questo di particolare che la stazione generatrice è costituita da due gruppi, cadauno con un motore a gaz a due cilindri orizzontali da 500 HP accoppiato direttamente ad un alternatore monofase da 260 Kw. - I due gruppi possono essere messi in parallelo.

Linea
Bloomington-Pontiac-
Joliet

Ne fu inaugurato nel Marzo 1905 con armamento elettrico monofase, sistema Arnold, un tronco di 17 Kilometri. Quando sarà ultimata la rete misurerà 150 Kilometri. Linea di contatto a 3300 volt a 25 periodi. Le vetture hanno 4 motori da 75 HP del sistema in serie compensato.

È stata messa in esercizio da oltre un anno. Misura circa 8 Kilometri che prima erano eserciti a corrente continua ed ora vennero ridotti a corrente monofase.

Ferrovia a
Long-Island

In America troviamo l'applicazione del monofase ad una locomotiva del peso di 125 tonn. diviso sopra due carrelli a 6 ruote cadauno.

Locomotiva Elettrica
sulla linea
East Pittsbourog

Ogni asse porta un motore monofase di 225 HP.

La locomotiva riceve la corrente a 6600 volt con due trolley, che viene trasformata a 325.

La locomotiva è destinata al servizio merci e fu provata sulla linea East Pittsburg con un treno di 50 vagoni pesanti 1200 tonn.; può marciare fino a 30 miglia l'ora.

Linea con tensione di 6000 sulla linea di contatto, a scartamento ordinario, lunga Kilom. 26,5 dello stato prussiano (in costruzione).

Linea
Blankenese-Amburgo
Ohtsdorf

Vetture automotrici N. 51 con motori monofasici sistema Wynter Heichberg a 25 periodi.

Ogni carrozza ha tre motori da 115 HP.

Per gli esperimenti sulle Ferrovie Svedesi, vennero dalle Case elettriciste fornite due locomotive elettriche ed un treno con vetture automotrici. La prima delle locomotive a corrente alternata, fornita dalla Società Westinghouse, porta 2 motori da 150 HP. La potenza ai cerchi delle ruote è di 4000 Kg. e la velocità può raggiungere i 62 Kilometri all'ora. Col cambio di rapporto degli ingranaggi può, la locomotiva, raggiungere velocità molto maggiori.

Ferrovie Svedesi

I motori funzionano con tensione da 125 a 250 volt sull'induttore. Il trasformatore è costruito in modo che i motori possono essere alimentati da una corrente primaria di 3.000, 6.000, 12.000, 15.000 o 18.000 volt.

Con dette locomotive si rimorchiano carichi fino a 300 Tonnellate sulla Wartinbahn, ove le pendenze raggiungono il 10 ‰.

Una seconda locomotiva venne fornita dalla Ditta Siemens-Schukert, nella quale il problema venne studiato e risolto sopra basi diverse.

Il treno automotore è costituito da vetture d'ordinaria costruzione, con controllo multiplo. Le vetture estreme hanno due motori Wynter Eichberg da 120 HP, montate su carrello di costruzione speciale.

Il treno è del resto conforme a quello in esercizio sulla linea

di Spindlersfeld. Tanto la locomotiva che le vetture automotrici sono munite di trolley ordinario ad archetto, nonché del trolley laterale sistema Oerlinkon per permettere gli esperimenti di entrambi i sistemi.

Gli esperimenti vengono fatti sulla linea Tontebad e Wartan.

La locomotiva della Casa Siemens Schukert pesa 36 Tonn. Era destinata per trainare un treno merci a velocità di 45 Kilometri all'ora in piano e di 24 su pendenza del 10 ‰. Era però previsto di poter in seguito raggiungere la velocità di 65 Kilometri mediante cambiamento del rapporto delle ruote dentate.

La locomotiva è a tre assi motori azionati ciascuno da un motore in serie compensato con speciale avvolgimento sussidiario per evitare lo scintillio nel commutatore.

I motori prendono la corrente dai trasformatori a 320 volt colla frequenza di 25 periodi, sviluppando 110 HP di forza cadauno. Il trasformatore collocato sulla parte anteriore della locomotiva è della capacità di 300 Kw. Il primario del trasformatore è costruito per tensioni di 5.000, 7.500, 10.000, 12.500, 15.000, 17.500 e 20.000 v.

Questa variabilità di tensione non aveva evidentemente altro scopo se non quello di prestarsi ad esperienze con diverse tensioni.

Il secondario del trasformatore comprende un gruppo principale e parecchie bobine a mezzo delle quali la tensione dei motori può essere cambiata, mediante 8 tacche, di 20 in 20 volt.

Trovansi inoltre due attacchi rispettivamente a 120 e 240 volt per illuminazione e riscaldamento.

Il controller regolatore per i motori comprende un cilindro principale con contatti per le posizioni principali ed uno speciale spegnitore di scintille.

Il controller regolatore al pari del commutatore per la direzione di marcia e dell'interruttore ad olio ad alta tensione viene comandato a mano.

Linea Vienna-Baden

Misura 30 Kilometri. Ha carrozze automotrici equipaggiate con 4 motori da 50 HP cadauno, per corrente continua e monofase.

Linea
Rotterdam-Haag-
Scheveningen

Linea di 30 Kilometri, con 20 automotrici aventi ognuna due motori di 175 HP. Velocità 75 Kilometri all'ora. Tensione di linea 10.000 volt.

Queste linee sono eseguite dalla Società Siemens Schukert.

Sebbene io abbia già fatto cenno di questa linea sulla quale si dovevano fare esperienze di trazione elettrica, credo bene riportare qui, ciò che si legge sul giornale "La Trazione Elettrica",:

« Gli esperimenti di trazione elettrica sulla linea Seebach-Wettingen furono innanzi tutto rivolti a stabilire se si potesse, senza inconvenienti, usare corrente alternata ad alta tensione alla frequenza di 50 periodi, che è generalmente usata in Svizzera. Le prime prove dimostrarono che alla frequenza suddetta la corrente causava delle gravi perturbazioni alle linee telefoniche interurbane, che, composte di 36 fili corrono parallelamente alla linea per 1,6 Km. fra le stazioni di Wettingen ed Affoltern, ad una distanza di 5 metri dal binario. Prove susseguenti dimostrarono che alla frequenza di soli 15 periodi le perturbazioni diventano affatto trascurabili. A causa dello stato, tecnicamente poco avanzato, del motore monofase nel 1901, anno in cui la Oerlikon intraprese lo studio e l'esecuzione dell'impianto in parola, si procedette dapprima agli esperimenti di trazione mediante una locomotiva a convertitore, già ben nota, e i risultati, in realtà importanti, di questi esperimenti, furono l'aver dimostrato praticamente che l'esercizio elettrico delle ferrovie è eseguibile con una tensione di 15.000 volt e che la presa di corrente sistema Oerlikon, grazie alla sua costruzione e alla sua disposizione laterale, rende l'impianto non inferiore a quelli a bassa tensione, per sicurezza di esercizio, ed è notevolmente superiore per semplicità. Inoltre si è dimostrato che l'installazione degli apparecchi necessari all'esercizio elettrico non riesce con i lavori a ciò necessari, in alcun modo di ostacolo o di disturbo all'esercizio a vapore.

« Ecco ora i risultati dell'esercizio elettrico sulla Seebach-Wettingen dal 16 Gennaio al 1° Ottobre 1905, eseguito con la locomotiva a convertitore:

| | |
|--|---------|
| Giorni di esercizio | 164 |
| Numero delle corse stabilite dall'orario | 1.532 |
| » » » realmente eseguite. | 1.442 |
| » » » non eseguite. | 90 |
| Treni-chilometri trasportati | 4.322 |
| Tonnellate-chilometri | 442.632 |

« Durante questo periodo d'esercizio non si verificò nella linea alcun difetto d'isolamento. L'esercizio fu proseguito regolarmente dopo il 1° Ottobre mediante la locomotiva n. 2 (a motori monofasi), dietro approvazione dell'Ispettorato ferroviario.

« L'energia necessaria all'esercizio della linea è fornita dall'impianto idro-elettrico di Hochfelden sotto forma di corrente trifase

a 30.000 volt, che in parte viene utilizzata nella fabbrica, unitamente a quella fornita dall'impianto a vapore esistente nella fabbrica stessa. La corrente di Hochfelden arriva ad una stazione trasformatrice disposta alla periferia dell'area della fabbrica, e contenente un gruppo convertitore composto di un motore trifase sincrono che fornisce 600 HP a 450 giri al minuto e alla frequenza di 50 per. accoppiato a due generatori monofasi, di cui uno di 400 KVA a 800 volt e 50 periodi per l'esercizio della locomotiva a convertitore, l'altro di 400 KVA a 750 volt e 15 periodi per l'esercizio della locomotiva a motori monofasi. Il motore sincrono è alimentato da un trasformatore che abbassa la tensione da 30.000 a 20.000 volt. I due generatori sono direttamente collegati a trasformatori di 450 KVA che elevano la tensione a 15.000 volt.

« La locomotiva a motori monofasi ha l'aspetto esterno, per ciò che riguarda la cassa, di una ordinaria vettura ferroviaria di medie dimensioni, montata su due carrelli a due assi ciascuno. In ogni carrello gli assi sono appaiati mediante bielle d'accoppiamento. La locomotiva è provvista di due apparecchi di presa della corrente, disposti uno per ciascuna estremità e per ciascun lato della locomotiva. Ogni apparecchio di presa è composto, come è già noto, di due archetti montati su isolatori e portati da un sostegno a parallelogrammi articolati, e che permette, azionato sia a mano che automaticamente, di spostare l'apparecchio di presa verso l'uno o l'altro dei lati della linea. Gli archetti sono tubi d'acciaio e poggiano sulla parte superiore del filo per mezzo di una parte in ottone introdotta in una scanalatura praticata sulla parte convessa dell'archetto e ad esso fissata mediante tre piccole viti di pressione. Questo pezzo di ottone è l'unico che sia soggetto a logoramento e può facilmente venir tolto e ricambiato.

« La posa degli archetti sul filo di contatto è fatta a mano mediante trasmissione meccanica, il sollevamento invece è fatto pneumaticamente. Ogni archetto è sollecitato a ruotare in un piano normale alla linea da due molle a spirale e a premere quindi sul filo di contatto. La locomotiva è protetta contro le scariche atmosferiche da un parafulmine scaricatore a corna con bobina di autoinduzione e resistenza a liquido. La bobina e lo scaricatore a corna sono disposti sul cielo della locomotiva. La corrente attraversa anzitutto un interruttore automatico a massimo che può anche essere manovrato a mano o con aria compressa; quindi è condotta a due trasformatori collocati nel mezzo della locomotiva e disposti uno accanto all'altro nel senso della larghezza; essi sono del tipo a nuclei, hanno la potenzialità di 200 KVA ciascuno per

carico continuo e sono raffreddati ad aria. Le loro dimensioni estreme sono le seguenti:

| | |
|---------------------|-----------|
| Lunghezza | mm. 1.100 |
| Larghezza | » 720 |
| Altezza | » 1.130 |

Il loro rapporto di trasformazione è $\frac{15.000}{750}$.

« L'avvolgimento secondario è diviso in 20 sezioni di 30 volt ciascuna, collegate con un regolatore di velocità, di costruzione simile a quella degli inseritori per batterie d'accumulatori e che permette d'inserire un numero variabile di sezioni secondarie e di variare così la tensione ai motori. Le estremità dell'avvolgimento secondario, fra le quali esiste una differenza di potenziale di 600 volt, sono collegate con la parte mobile di un regolatore ad induzione bipolare, costruito per la frequenza di 15 periodi. L'avvolgimento mobile è induttore, quello fisso è l'indotto in cui viene variata la tensione. Questo regolatore fornisce una variazione continua di tensione da + 150 a — 150 volt. Esso viene azionato dal macchinista per mezzo di un volantino e di una trasmissione a vite perpetua. Anche il regolatore inseritore viene azionato mediante un volantino. Sulla locomotiva sono stati montati i due differenti regolatori per sperimentarli entrambi e determinare a quale dei due si debba infine dare la preferenza.

« La corrente a bassa tensione, attraversati i regolatori, passa per i due interruttori ad inversione nei motori. Questi sono in numero di due e sviluppano ciascuno 300 HP a 650 giri al minuto. L'induttore di questi motori è lamellato ed ha poli sporgenti, l'indotto, provvisto di collettore a spazzole, è costruito ed avvolto come quello di un ordinario motore a corrente continua. Fra i poli principali dell'induttore sono disposti dei poli di minori dimensioni detti poli ausiliari, eccitati da bobine particolari, le quali sono determinate in modo che, attraversate da una corrente di intensità e fase opportune, generano col loro flusso nei conduttori chiusi in corto circuito dalle spazzole nella commutazione una forza elettromotrice uguale per fase ed intensità alla somma delle forze elettromotrici generate nei conduttori stessi dal campo magnetico alternato principale e dalla rotazione nel campo dell'armatura. L'eccitazione dei poli principali è naturalmente in serie; questi poli hanno dei canali in senso assiale, nei quali sono disposte le spire compensatrici, che sono chiuse su se stesse in corto circuito o disposte in serie con la corrente principale. Le bobine di ecci-

tazione dei poli ausiliari sono disposte in serie con la corrente principale. Le bobine di eccitazione dei poli ausiliari sono disposte fra loro in serie con una resistenza non induttiva ed il secondario di un piccolo trasformatore il cui primario è disposto in serie sulla corrente principale. Questa disposizione permette di stabilire nel modo voluto la fase e l'intensità della corrente di eccitazione dei poli ausiliari. Il numero dei poli di ogni motore è di 8. I motori sono disposti al disopra dei carrelli, ed ognuno di essi trasmette il movimento mediante una coppia di ingranaggi nel rapporto da 1:3, l'ad un asse intermediario disposto al disotto del motore e in uno stesso piano verticale coll'asse del motore stesso, cosicchè il motore non è sottoposto alla limitazione di dimensioni che subirebbe se fosse collocato fra gli assi dei carrelli. Alle estremità, l'asse intermediario porta due manovelle che trasmettono il moto alle bielle d'accoppiamento del carrello corrispondente.

« I motori non hanno alcuna sospensione elastica speciale; essi sono fissati rigidamente ai carrelli, come pure gli assi intermediari; poichè fra i carrelli e gli assi rispettivi sono interposte le molle di sospensione della locomotiva, i cuscinetti delle manovelle degli assi intermediari sono spostabili in senso verticale in guide praticate nelle bielle d'accoppiamento, in modo da permettere il giuoco delle molle. In tal modo i motori usufruiscono della sospensione elastica della cassa della locomotiva e resta eliminato qualsiasi spostamento relativo degli assi della coppia d'ingranaggi. I carrelli sono girevoli grazie ad una disposizione speciale applicata in sostituzione dei perni che non si poterono usare a causa della posizione dei motori nel mezzo dei carrelli. La distanza fra gli assi di ciascun carrello è di metri 2 e il diametro delle ruote di metri 1,050. L'aria compressa per il freno Westinghouse è per la manovra pneumatica degli apparecchi elettrici è fornita da un compressore azionato da un motorino monofase da 6 HP, il quale è alimentato da 240 volt da una parte corrispondente del secondario dei trasformatori.

« La pompa è comandata automaticamente e mantiene la pressione dell'aria fra 5 e 7 atmosfere. L'illuminazione della locomotiva è fornita da sei lampade ad incandescenza a bassa tensione, 20 volt, che in grazia della grossezza del filamento non danno una luce oscillante in modo sgradevole alla vista, come farebbero lampade comuni alimentate a così bassa frequenza.

« Le cabine del guidatore contengono a destra il volantino del regolatore-inseritore, il robinetto di manovra del freno Westinghouse col rispettivo manometro e il tirante del fischio d'allarme;

nel mezzo, in alto, un piccolo quadro con voltometri e amperometri; a sinistra i robinetti ad aria compressa per la manovra dell'interuttore ad alta tensione, degli interuttori ad inversione dei motori, dell'apparecchio di presa della corrente e della sabbiera. Vi è inoltre una leva per il freno a mano, un indicatore di velocità e due leve per la manovra meccanica dell'interuttore ad alta tensione e dell'apparecchio di presa. Il peso totale della locomotiva è di 43 tonnellate, di cui 23.500 chilog. per la cassa e i carrelli, e 19.500 chilog. per l'equipaggiamento elettrico e i freni. Ogni motore pesa, senza ingranaggi, 3.380 chilog.; il regolatore ad induzione con trasmissione a vite perpetua 4.000 chilog., il regolatore inseritore 310 chilogrammi.

« Gli esperimenti di trazione di questa locomotiva furono fatti con treni di 270 tonn. e mostrarono che tanto nell'avviamento, quanto nella marcia sulla salita dell'8‰, a 30 Kilom. all'ora, non si verifica alcuno scintillio al collettore. Durante l'avviamento l'intensità della corrente ai motori salì a 1000 ampère, e nella marcia sulla salita dell'8‰ a 27 Kilom. all'ora e con 450 volt ai motori, a 780 ampère ».

La lunghezza della linea che serviva a congiungere le due parti dell'Esposizione di Milano era di soli metri 1300, ma per il servizio continuo che vi compieva i treni, sostando alle estremità solo il tempo strettamente necessario per lasciar discendere e salire il pubblico, può considerarsi come una linea di lungo percorso per riguardo al funzionamento dei motori.

Il servizio era fatto con treni di 4 vetture a controllo multiplo con vetture automotrici alle due testate del treno, munite di due motori cadauno della forza di 30 HP.

Le vetture intermedie avevano inoltre un motore per cadauna pure di 30 HP.

La soluzione data al problema elettrico è stata subordinata a concetti di opportunità e fu influenzata da speciali circostanze delle quali è d'uopo tener conto, e sono:

- 1° La limitazione del peso massimo delle vetture;
- 2° Tipo di materiale che potesse trovare utile collocamento ad esposizione finita;
- 3° Ristrettezza di tempo per la fornitura di materiale.

Quest'ultima circostanza ha specialmente influito sull'adozione del provvedimento di applicare un motore sulle carrozze intermedie, perchè la Ditta assuntrice Gadda, Brioschi e Finzi di Milano, potè in tale modo adottare un tipo di motore monofase di 30 HP che aveva sperimentato sulla tramvia Milano-Musocco.

Ferrovìa elevata
dell'Esposizione
di Milano

Il tratto di linea aveva pendenze che raggiungevano il 35 ‰ in condizioni assai sfavorevoli per la trazione, avvegnachè una di esse si presentava immediatamente all'uscita della stazione al Parco; e, conseguentemente, in senso opposto di marcia si aveva lo svantaggio della stazione d'arrivo al piede della discesa.

Si avevano inoltre sulla tratta in massima pendenza, delle curve di 90 metri di raggio, e perciò le vetture erano costruite ad assi radiali.

L'impianto motore consisteva di due gruppi generatori uno dei quali di 600 HP costituito da un motore trifase a 360 v. e 42 periodi, alimentato dalla corrente della rete della città che comandava direttamente un alternatore monofase. L'altro gruppo, che serviva solamente di riserva, constava di un motore a gaz povero Langen e Wolf che comandava altro alternatore monofase.

L'energia era generata a 2000 volt e direttamente trasmessa al filo di contatto.

Si avevano poi due gruppi, di cui uno di riserva, formati ciascuno da un motore trifase a bassa tensione che comandava una dinamo per l'eccitazione. Eravi infine una batteria di accumulatori Tudor, pure per l'eccitazione.

La linea era con unico filo di trolley, e di alimentazione nel tempo stesso, sostenuto a distanze variabili fra 30 e 40 metri da morsetti di bronzo fissati a speciali isolatori doppi Richard-Ginori. Gli isolatori erano a loro volta sostenuti da fili trasversali di acciaio fissati in testa alle piantane di legno.

Ogni treno pesava 38900 Kilog. circa a vuoto e 57000 con carico di 280 persone.

Le vetture misuravano M. 10 fra i respingenti e M. 4 fra gli assi. Quelle motrici pesavano K. 11.100, le intermedie 8350.

Ogni vettura aveva 4 scomparti con 6 posti a sedere per cadauno, ogni piattaforma poi, salvo quelle di testa ove era lo scomparto del manovratore, era capace di 28 persone in piedi.

I motori monofasici da 30 HP a sei poli, erano muniti di un avvolgimento compensatore e facevano da 750 a 1200 giri al minuto. Essi trasmettevano il movimento alle ruote mediante una coppia di ingranaggi col rapporto di 14:71; potevano quindi impartire al treno una velocità da 20 a 40 Kilom. all'ora.

La massima richiesta normale di energia sia con 2 che con 3 treni in circolazione, si manteneva sui 200 Kw., dei quali, circa 170 erano assorbiti dall'avviamento del treno in partenza dalla stazione del Parco, all'uscita della quale eravi un tratto in forte pendenza, come fu già detto, e con curva ristretta.

Il consumo medio di energia sul tragitto dal Parco a Piazza d'Armi era di circa 70 Kw.-ore per tonn. Kil.°

Nelle esperienze fatte sui motori in officina, a quanto mi fu comunicato si raggiunse il 95 % di rendimento.

Motori da 100 HP dello stesso sistema monofase Finzi devono essere sperimentati sulle Ferrovie Valtellinesi utilizzando come linea di contatto uno solo dei fili della conduttura trifase che serve attualmente.

Di questa linea della quale dissi alcune parole in una precedente mia Relazione quando la trasformazione non era fatta, darò ora qui i dati che potei spigolare in proposito.

La linea misura Kilom. 23,6 ed è a scartamento normale; ha pendenze per tratte molto lunghe al 30 ‰. Il percorso si fa nell'ascesa in 72 minuti e nella discesa in 65, comprese 8 fermate. La velocità massima è di 40 Kilometri all'ora.

Il servizio è fatto con 8 coppie di treni in estate e 6 in inverno.

La ferrovia fu costruita nel 1899-900 ed attivata con esercizio a vapore, e fu trasformata a trazione elettrica nel 1905.

La stazione generatrice viene utilizzata anche per altri servizi; è costituita da due unità di 500 HP di cui una per riserva.

La linea di trasporto d'energia, per luce e forza motrice, è a sei fili di rame nudo di 35 millim. quadrati a 20.000 volt di tensione.

Quella per trazione, fino al punto di alimentazione, consta di due conduttori paralleli di 35 mm. quadrati per l'andata ed uno stesso conduttore per il ritorno.

Il punto d'attacco della linea di contatto alla linea di trasporto di forza è a $\frac{3}{5}$ del percorso dall'origine di Murnau.

L'officina dista circa 3 Kilometri dalla linea.

La linea di contatto è ad un solo filo di 50 millim. quadrati, sostenuto da mensole di ferro su pali di legno distanziati 35 metri in rettilineo e 30 nelle curve. L'isolamento è doppio, cioè oltrecchè nell'attacco, anche mediante isolatori di porcellana, i quali mantengono isolato il filo trasversale pel quale la linea è attaccata alle mensole.

Per una tratta di un Kilometro venne sperimentata una sospensione multipla della Casa Siemens Schukert, la quale consta di un filo d'acciaio portante i due fili di lavoro, sospesi al medesimo con tiranti e mantenuti distanti con traverse formanti bilanciere.

La distanza fra i due fili di lavoro è variabile per modo che i fili di contatto fanno dei zig-zag simmetrici.

Scopo di questa disposizione è di rendere uniforme il consumo dell'archetto e creare sempre un buon contatto specialmente nelle curve, ove la sopraelevazione della rotaia ha una certa influenza sul medesimo.

La linea di contatto è divisa in 5 sezioni, ed è alimentata da corrente a 5600 volt a 16 periodi.

Il collegamento delle rotaie è fatto con condutture di rame di 10 millim., con spina di ferro, e ad ogni 100 metri esiste un collegamento trasversale, e così pure sono elettricamente collegati i pezzi di scambio.

La messa a terra delle rotaie è fatta ogni 400 metri circa mediante lastra di rame alla profondità di circa un metro sotto terra.

Il materiale mobile è di due tipi. Le automotrici destinate normalmente pel servizio d'inverno hanno 20 posti di terza classe, 8 di seconda, uno scomparto per la posta ed uno per bagagli e merci; pesano 26 Tonn.

Quelle per l'estate contengono 30 posti di terza classe e 16 di seconda; pesano Tonn. 27,50. A queste vengono aggiunte, a seconda delle esigenze di servizio, una vettura con bagagliaio e scomparto postale, nonché una o due altre vetture passeggeri, ovvero un carro merci.

Si possono così trasportare da 100 a 150 viaggiatori per treno. Il peso medio dei treni è di Tonn. 50.

Delle vetture automotrici di cui è cenno, se ne hanno due per cadaun tipo. Sono a tre assi coll'asse mediano spostabile.

Le vetture sono illuminate a luce elettrica e provviste di riscaldamento e freno Westinghouse.

La presa di corrente è fatta mediante due archetti collegati fra loro per mezzo di una conduttura fissata sopra isolatori di porcellana, alla quale sono anche collegati i parafulmini a corna.

I due archetti vengono manovrati contemporaneamente mediante un apparecchio ad aria compressa.

I trasformatori sono collocati sotto la vettura in cassette di lamiera riempite d'olio e munite di costole di raffreddamento.

I motori sono del tipo in serie monofasi a 270 volt; provati per un'ora ad aria tranquilla a 100 HP danno un riscaldamento di 65 gradi.

Per determinare il rendimento effettivo dell'impianto si calcolarono teoricamente gli sforzi e questi avrebbero richiesto 30,5 Watt

ore per Tonn.-Kilom. Effettivamente si ebbe il consumo di Watt-ore 43 e quindi il rendimento sarebbe del 70 %.

Nell'impianto della linea Murnau-Oberammergau non si aveva di mira il solo servizio di trazione della ferrovia, ma anche il servizio di luce e di alcuni impianti motori; si ebbe inoltre riguardo alle installazioni già fatte alla centrale.

L'impianto richiese:

1. A Murnau un trasformatore rotativo da corrente trifase a corrente continua di 60 Kw., una batteria di accumulatori di 580 ampères, una locomobile di riserva;

2. In Kolgrub un motore ad alta tensione di 45 HP, una generatrice a corrente continua di 30 Kw., una batteria di accumulatori di 216 ampères ed un motore di riserva;

3. In Oberammergau un motore trifase di 85 HP, una generatrice a corr. continua di 55 Kw., una batteria di accumulatori di 430 amperes ed un locomobile di riserva;

4. Sono poi attaccate alla linea ad alta tensione, una pompa di 32 HP ed alcuni altri motori di minore forza.

Allorquando si pensò a trasformare questa ferrovia all'elettricità, furono studiate diverse soluzioni, cioè per applicazione della corrente continua, della trifase e della monofase e questa ultima offrì la maggiore economia. Dal confronto fra la spesa d'impianto a corrente continua con 3^a rotaia ed il monofase risulterebbe il considerevole divario da 3.600.000 Lire a 1.600.000.

Le condizioni di impianto, di reddito, di movimento, che costituiscono della linea di Val Brembana un caso normale di ferrovia locale di medio prodotto, meritano che su di essa si spendano alquanto parole, perchè da dati che, della stessa più che di altre si potranno avere anche in seguito a riguardo delle spese di esercizio, si potranno trarre utili ammaestramenti per trasformazione di ferrovie con trazione a vapore in ferrovie a trazione elettrica.

La linea misura una lunghezza complessiva di Km. 30,100; è a scartamento normale. La pendenza massima è del 24 ‰ e le curve hanno raggi che discendono sino a M. 150,00.

Il profilo assai accidentato ha delle contropendenze in condizioni di ubicazione tali, da rendere l'esercizio eccezionalmente gravoso, sotto il punto di vista della massima richiesta simultanea di energia elettrica, tanto per i treni ascendenti che per quelli discendenti.

L'impianto motore è costituito da N. 3 turbine di 600 HP,

Ferrovia
di
Valle Brembana

e di tre alternatori da 500 Kw., di due piccole turbine, una per ciascuna dinamo eccitatrice, nonché da una turbina da 30 HP per un alternatore destinato alla produzione dell'energia per illuminazione. Questo piccolo alternatore lavora a 6000 V. e può essere messo in parallelo coi tre alternatori principali, in caso di bisogno eccezionale.

L'impianto motore si trova a Kilometri 2 circa oltre all'estremità della linea.

La corrente è trasmessa alla tensione di 6000 volt.

La linea di alimentazione è costituita, oltre che dal filo di trolley e dal filo portante di acciaio con esso collegato, da un filo di feeder del diametro di 8 millim.

Tanto la linea di alimentazione quanto quella di luce e quella di contatto, sono montate, in massima parte, sopra piantane di pino iniettato, collegate nella parte superiore da un doppio ferro ad U e da due saette.

La linea d'alimentazione corre su uno dei lati della linea, applicata all'esterno dei pali, la cui sommità si eleva sulla traversa in modo da lasciare spazio all'attacco di due isolatori, sullo stesso palo, collocati verso l'interno, per i fili della luce elettrica.

La sospensione del filo del trolley è fatta con tirantini a distanza di M. 2,00, di lunghezza variabile, sostenuti da una treccia d'acciaio portante, di 7 millim., disposta in catenaria e sostenuta a tesate di M. 35,00 in rettilineo e di M. 30 nelle curve.

La linea di contatto è costituita da un filo di rame elettrolitico foggiate a 8 del peso di Kg. 0,500 per metro corrente. La forma speciale del filo è consigliata dalla maggiore sicurezza di attacco ai montanti, i quali lo stringono a guisa di tenaglia nella scanalatura.

Nelle curve si provvede ad un migliore adattamento della poligonale, per mezzo di tiranti attaccati da una parte, ai pali esterni della curva e dall'altra, a metà delle tesate del filo. I tiranti sono isolati in vicinanza ai pali.

Il filo del trolley è, in via normale a M.^{mi} 6 sul piano delle rotaie ed il filo portante raggiunge, nei punti di sospensione, l'altezza massima di 6,40; esso è montato su fili trasversali isolati agli estremi, da due isolatori a campana multipla, tipo Ginori, montati direttamente sui traversi di doppio ferro ad U che congiungono i due pali di sostegno.

L'isolamento del filo di contatto e del filo portante, collegati tra di loro a mezzo dei tirantini, è ottenuto coi suddetti due isolatori.

Il ritorno di corrente si opera per mezzo delle rotaje, che sono collegate elettricamente per mezzo di speciali connessioni di rame, poste sotto le stecche di giunzione e assicurate al gambo delle rotaie con spine d'acciaio.

La sola linea di contatto così costrutta, costerà circa L. 10 per ogni metro, esclusi gli scambi.

Il materiale mobile consta di N. 5 locomotive a doppio carrello, con la cassa divisa in parecchi scompartimenti, di cui i due estremi costituiscono la cabina del guidatore, i due centrali servono per bagagliaio e posta, i due piccoli per la pompa del compressore d'aria e dell'insieme d'apparecchi che costituiscono il controller pneumatico.

Ciascuno dei 4 assi della locomotiva è azionato per mezzo di ingranaggi a riduzione di velocità da un motore monofase della potenza di 75 HP.

Le locomotive possono sostenere il carico totale di 300 HP per un'ora continuativa senza che i motori debbano dar segno di riscaldamento anormale.

Tutto l'altro materiale mobile, per trasporto viaggiatori e merci è semplicemente di rimorchio.

Il peso dei convogli può raggiungere Tonn. 90 per i treni merci a velocità di circa 20 Km. all'ora, e 50 Tonn. per i treni viaggiatori, escluso sempre il locomotore, con velocità variabili da Km. 40 in piano a K. 35 sulle forti pendenze, all'ora.

L'esercizio cominciò il 12 luglio 1906 solamente fino a S. Pellegrino e limitatamente ai viaggiatori, eseguito con trazione a vapore. Al 5 ottobre 1906 si aperse anche il tronco S. Pellegrino-S. Giovanni e fu attivato il servizio merci.

In questi 5 mesi e mezzo si ebbe un prodotto che ragguagliato all'anno e a Km. è di circa 14.000 lire.

Il servizio elettrico verrà stabilito con 8 coppie di treni viaggiatori e da una a due coppie di treni merci, nell'orario d'estate, e 6 coppie di treni viaggiatori e 2 coppie di treni merci nell'inverno.

La composizione ordinaria dei treni viaggiatori è stabilita di quattro vetture con una capacità di 30 posti di prima classe e 180 di seconda d'estate, e con 3 vetture d'inverno.

Kilom. 14 di linea con 20 vetture montate con 4 motori da 115 HP.

Linea di contatto a 6500 volt a 25 periodi.

**Ferrovia
Chicago Toledo**

Un primo tronco di 60 Kilom. di questa ferrovia che misurerà 150 Kilom. in complesso, a trazione elettrica, fu recentemente aperto all'esercizio. Vi sono applicate vetture da 50 posti che corrono a 60 Kilometri all'ora.

Non trovasi indicato il sistema di trazione, ma il fatto che la trasmissione è fatta con filo aereo sopra una tratta lunga, e che, trattandosi di applicazione recente, non è ammissibile si sia applicato il sistema più vecchio, dà motivo a supporre che sia fatto con corrente alternata.

Lo stesso dicasi per le ferrovie seguenti:

**Linea
Barcellona Soria**

È questa una linea convertita a trazione elettrica ed in pari tempo ridotta a scartamento normale. La trasmissione di energia si fa con filo aereo.

**Ferrovia della
Lancashire Yorkshire**

La Società della ferrovia emarginata ha prolungata la trasformazione elettrica sino a Ainkée.

Il servizio è fatto con una o due motrici e fino 10 vetture di rimorchio.

**Ferrovia del Sempione
(a corrente trifase)**

Di altri impianti con sistemi diversi dal monofase va notato, per la sua importanza quello del tunnel del Sempione. Esso è a corrente trifase a 3.300 volt sulla linea di contatto.

L'importanza della linea e le sue speciali condizioni, di essere sopra 22 Kilometri circa per ben quasi 20 K. in galleria; il breve termine concesso per l'impianto della trazione elettrica; consigliarono di attivare un sistema che aveva già ottenuto una completa sanzione dalla pratica e fu quindi preso a norma il sistema applicato sulle linee Valtellinesi.

Le locomotive elettriche della linea del Sempione sono, pel modo di funzionamento, conformi all'ultimo tipo adottato per le ferrovie Valtellinesi, lavorano cioè con corrente d'alimentazione di 3000 volt a 15 periodi ed hanno due velocità cioè 68 Kilom. e 34 Kilom. all'ora. Le due velocità sono ottenute cambiando il numero dei poli dello stator.

Durante il periodo di acceleramento d'un treno viaggiatori di 300 Ton. (68 Kilom. all'ora) è richiesto uno sforzo di 7500 Kw. e per l'avviamento di un treno merci di 400 Ton. 9000 Kw.

Gli sforzi massimi di trazione sono stabiliti a 9000 Kw. per 68 Kilom. di velocità, 14000 Kw. per 34 Kilom.; gli sforzi normali, rispettivamente 3500 e 6000 Kw.

Il peso totale delle locomotive è di Tonn. 62, di cui Tonn. 42

di peso aderente ripartito sopra 3 assi accoppiati e Tonn. 20 sugli altri.

Il diametro delle ruote motrici è di metri 1,64; delle portanti 0, 85. La locomotiva è munita di due motori della potenza normale di HP 900 e massima di HP. 2300.

La presa di corrente è effettuata con due parallelogrammi articolati azionati da molle e da pompa ad aria compressa.

Alle ragioni esposte per la ferrovia del Sempione si aggiungono ragioni di assoluta opportunità per l'adozione del sistema trifase per le linee Lecco-Milano e per la Usmate-Bergamo essendo queste, l'una un prolungamento delle Valtellinesi e l'altra una diramazione della Milano-Lecco.

Per queste linee può oramai ritenersi decisa l'elettrificazione, tali essendo state le conclusioni della commissione governativa.

Il sistema a corrente trifase sembra verrà pure prescelto per la linea dei Giovi e per la Porrettana.

Uno studio fatto dal R. Ispettore Sup. delle Strade Ferrate Comm. Crosa, pone in luce come, sotto il punto di vista di un aumento di potenzialità, la trazione elettrica sui Giovi soddisferebbe completamente alle esigenze del servizio.

Aggiungasi che la linea dei Giovi per le sue pendenze forti e molto uniformi, e pel suo movimento non interrotto di treni in ambi i sensi, può certamente offrire campo al massimo profitto dal ricupero di energia creata dai treni in discesa; quivi adunque, più che altrove, il sistema trifase potrà, a preferenza di ogni altro, trovare utile applicazione. La sua convenienza non è invece così evidente per la linea Porrettana ed ivi uno studio di raffronto fra il trifase ed il monofase sarebbe certamente desiderabile.

Di applicazioni elettriche alla trazione, ne venne, ultimamente, fatta qualcuna anche a corrente continua; tale è l'impianto pel servizio merci sul tronco fra Capo May e Sewill S. Point della Rete Philadelphia-Reading, con locomotiva elettrica.

Come si rileva dalle applicazioni noverate sopra la preponderanza conservata fino a pochi anni addietro dal sistema a corrente continua fu decisamente presa dal sistema monofase, e ciò malgrado la tenacità colla quale alcune potenti Case americane, costruttrici di macchine a corrente continua, contendono tuttora il campo al nuovo sistema.

Linea
Lecco-Milano
e Usmate-Bergamo
(di prossima conversione)

Linea
dei Giovi e Porrettana
(di prossima conversione)

Linea Capo May-
Sewill S. Point
(a corrente continua)