

Sistema autocompensato di linea di contatto a catenarie incrociate nella elettrificazione delle ferrovie basche

Dr. Ing. LELLO PONTECORVO

Riassunto. — L'autore, che ha elaborato il progetto e diretto la esecuzione dell'impianto della elettrificazione della rete delle Ferrovie basche in Spagna, espone le caratteristiche ed i vantaggi tecnici ed economici di un proprio sistema autocompensato di linea di contatto a sospensione longitudinale a catenarie incrociate, descrive alcuni dettagli delle costruzioni adottate ed alcuni risultati di esercizio.

Nello studio del progetto di elettrificazione della Rete delle Ferrovie Basche (Ferrocarriles Vascondados) in Spagna, che fu affidato all'autore di questa Nota, furono incontrate condizioni di tracciati e di esercizio assai difficili che obbligarono di progettare per ogni parte degli impianti fissi e mobili macchinari ed apparecchiature speciali.

Allo scopo di assicurare alla linea elettrificata la più alta capacità di traffico possibile che nella trazione a vapore aveva raggiunto la congestione si dovettero progettare tipi di trattori elettrici della massima possibile potenza e con tali caratteristiche di marcia dei motori di trazione da permettere velocità relativamente alte anche nelle forti e lunghe pendenze, ma nello stesso tempo con rodismi che permettessero la buona iscrizione ossia basse pressioni laterali sulla testa della rotaja, nelle curve strettissime di questa rete. Queste costruzioni erano necessarie per soddisfare al progettato notevole aumento delle velocità di marcia, che nella trazione a vapore era prescritta nei bassi limiti ordinariamente adottati in relazione alle gravi difficoltà del tracciato e del profilo longitudinale.

Nel campo delle condutture di contatto, allo stesso scopo di garantire la più alta possibile capacità di traffico futuro era stato necessario prevedere notevoli quantità di rame, con che gli sforzi dovuti alle curve di piccolissimo raggio risultavano così considerevoli che le costruzioni normali di sospensioni, poligonazioni, morsetterie ecc. o non potevano trovarvi alcun impiego oppure non offrivano quell'alto grado di sicurezza che, in una linea di così difficile tracciato ed intenso traffico, si doveva esigere. Così la necessità si è imposta di progettare un sistema elettromeccanico di apparecchiatura aerea accuratamente calcolato e adatto per il caso speciale.

Queste speciali circostanze hanno suggerito anche la opportunità di studiare la eliminazione, nei sistemi noti di catenaria, delle speciali funi portanti. È così risultato un sistema longitudinale di conduttori successivamente portanti e di contatto che presenta notevoli vantaggi tecnici ed economici rispetto agli altri sistemi longitudinali conosciuti.

Scopo di questa nota è quello di descrivere questo sistema ora che da circa due anni di applicazione sulla rete Vascondados ha dimostrato di mantenere pienamente le speranze formulate durante la sua elaborazione, integrando questa descrizione con brevi cenni sulla intera apparecchiatura aerea speciale impiegata nella rete suddetta.

I. — IL SISTEMA AUTOCOMPENSATO

La stampa tecnica straniera si è già occupata di questo nuovo sistema italiano, ma è la prima volta che chi scrive ha l'onore di esporre il risultato di questi studi ed applicazioni al consesso autorevole dei colleghi italiani. Siccome però la esposizione, in specie della parte teorica del meccanismo delle catenarie incrociate o sfasate, e del loro funzio-

namento sotto le variazioni di temperatura, come anche la descrizione ed il calcolo delle apparecchiature aeree richiederebbero uno sviluppo notevole, così limiteremo questo rapporto alla esposizione, la più rapida possibile, delle caratteristiche costruttive di questo nuovo sistema aggiungendo qualche breve cenno sui risultati conseguiti durante il trascorso esercizio. Nella seconda parte tratteremo anche assai succintamente delle principali costruzioni delle apparecchiature speciali usate mentre che per più ampie informazioni che possano interessare gli specialisti rimandiamo alla nostra pubblicazione « La linea de contacto de los Ferrocarriles Vascongados » pubblicata nel 1929 dagli *Anales de la Asociacion de Ingenieros del Instituto Catòlico de Artes e Industrias* a Madrid, come anche all'opuscolo: A. CAPPELLONI « Sopra il calcolo della catenaria autocompensata » (*Politecnico* 1930, n. 4).

Si deve rilevare innanzi tutto che le linee Vascongados elettrificate che comprendono la Bilbao-S. Sebastian, la Màlza-Zumàrraga ed altre minori diramazioni costituiscono le arterie principali di un gruppo ferroviario di linee statali e private con scartamento di un metro e con uno sviluppo che, nella sola regione considerata, è di 700 km.

È forse ozioso rilevare che lo scartamento ridotto non ha facilitato la soluzione del problema della linea aerea. La applicazione del nuovo sistema fatta su linee di un metro di scartamento ha servito a dimostrare che esso non ha dato luogo ad inconvenienti ad onta dello scartamento ridotto che coinvolge la presenza di curve assai ristrette con conseguenti sforzi nelle poligonazioni del tutto sconosciuti negli scartamenti normali.

Le esigenze principali alle quali doveva soddisfare la linea di contatto erano le seguenti:

1) Quantità totale di rame necessaria per ottenere la massima capacità della linea a semplice binario, rappresentante un aumento del 125 per cento rispetto alla capacità nella trazione a vapore: 514 mmq. Se ne sono applicati 300 mmq., che è la quantità necessaria durante i prossimi anni, sulla struttura portante e di contatto riservando a due futuri *feeders* da 107 mmq. ciascuno, da montarsi sulla stessa palificazione già predisposta per tale carico, di completare la dotazione totale prevista.

2) Curve minime di 100 metri di raggio sulla linea principale Bilbao-S. Sebastian in quantità notevoli, con due curve eccezionali di 90 e 80 metri di raggio. A molte di queste curve seguono controcurve con rettili intermedi di lunghezze inferiori talvolta alle lunghezze di treni viaggiatori

3) Curve minime di 60 metri di raggio ed in quantità assai notevoli sulla importante diramazione di Màlza-Zumàrraga. È questa una tipica linea di montagna con assai tortuoso tracciato e parecchie lunghe gallerie.

4) Pendenze massime del 28 per mille nella linea principale e del 26 per mille nella diramazione menzionata, con rampe di 22-23 per mille della lunghezza di 4-5 chilometri. Curve minime e pendenze massime sono sempre coincidenti.

5) Scarto totale di temperatura constatato dalle statistiche degli ultimi 44 anni, di 53° C (— 10° e + 43°). Velocità assunta pel vento 120 km.-ora. I venti più violenti che provengono dall'Atlantico si hanno anche d'inverno. La neve è poca e rara. Mancando dati, si è assunto un carico di ghiaccio uguale ad un quarto del peso proprio del conduttore e una pressione contemporanea di vento di 30 kg. per metro quadrato sulla sezione del conduttore con un fattore di riduzione per la sezione circolare del filo uguale a 0,6.

6) Corrente continua a 1750 volt.

Nello studio del tipo di costruzione della struttura aerea si dovevano inoltre conciliare diverse altre esigenze. Si desiderava infatti che la conduttura di contatto propriamente detta fosse composta di due fili con lo scopo di offrire doppia presa di corrente all'archetto e che il diametro dei fili stessi non risultasse minore di un centimetro circa mentre che il conduttore o i conduttori portanti dovevano avere una sezione sufficiente per sopportare il peso di quelli di contatto. Come si è detto, si desiderava evitare le funi portanti in acciaio o in bronzo a bassa conducibilità per conseguire economie. Una regolazione automatica



FIG. 1. - Sospensione longitudinale con catenaria ordinaria.



FIG. 2. - Sospensione longitudinale americana e del primo impianto del Gottardo.

per gli allungamenti od accorciamenti dovuti alle variazioni di temperatura era altamente desiderata, ma si dovevano evitare i tenditori a peso, della linea di contatto, il cui buon funzionamento era ritenuto impossibile in una linea a svolte e risvolte continue e assai ristrette, a meno di collocarne un numero tale da gravare in modo proibitivo sul costo della linea.

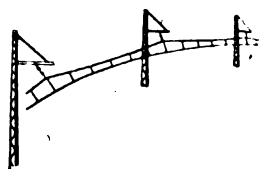


FIG. 3. - Sospensione longitudinale tipo Chemins de Fer du Midi.

Nessuno dei sistemi principali noti, fig. 1-2-3, presentava tutte le qualità desiderate e fu quindi necessario studiare e realizzare un sistema che, mentre soddisfacesse a tutte le esigenze poste a base del problema, offrisse per la sua semplicità sufficienti garanzie di buona riuscita. Ciò era tanto più necessario in quanto che la Compagnia proprietaria della rete da elettrificare lasciava al Consulente progettista completa responsabilità

sia tecnica che economica limitando in anticipo, e con garanzia, il costo dell'impianto.

Sulle basi esposte è risultata la seguente costruzione del sistema longitudinale auto-compensato a catenarie incrociate.

Nel suo dispositivo teorico il sistema è formato da due catenarie a , b , ciascuna delle quali ha una lunghezza uguale a due campate (fig. 4), le due catenarie essendo sfasate fra



FIG. 4. - Sistema teorico di due catenarie sfasate o incrociate.

di loro di una campata. La catenaria a , ha i suoi punti di sospensione in c , e la catenaria b in d . Ora, se i ventri di una catenaria vengono appesi per mezzo di pendini di lunghezza conveniente ai rami dell'altra catenaria che convergono verso i nodi o punti di sospensione, si ottiene come filo di contatto un conduttore formato alternativamente di tratti delle due catenarie e che, per una determinata temperatura, risulta perfettamente orizzontale o parallelo al binario se gli appoggi sono posti alla giusta altezza ed il numero di pendini è teoricamente infinito. Conseguentemente ogni sistema di catenaria compreso tra due

campate è composto per una quarta parte di conduttore portante o di sostegno che sopporta il peso della seconda catenaria, per una metà, quella media, a massima flessibilità, di conduttore di contatto pendente dalla seconda catenaria e finalmente per un'altra quarta parte di conduttore di sostegno della seconda catenaria.

I fili sono identici per le due catenarie come sezione e come materiale, ambedue le catenarie sono quindi conduttrici. In questo sistema di due catenarie uguali ognuna di esse può essere composta di uno o di più fili, praticamente, per i casi ordinari di non più di due. Nella applicazione fatta alla rete delle ferrovie Vascongados entrambi i due dispositivi sono stati impiegati e cioè il tipo ad un filo per ciascuna catenaria, e quindi due in totale, applicato su una diramazione secondaria pianeggiante e con poco traffico, ed il tipo di due fili in parallelo per ciascuna catenaria ed in totale quindi 4 fili per le altre linee assai importanti dove possono essere captate molte centinaia di ampère. La sezione di ciascuno dei fili tutti uguali è stata scelta di 75 mmq. ottenendosi così nel primo caso 150 e nel secondo 300 mmq. di rame. Il filo è sagomato ed ha un diametro di 10,4 mm. (fig. 5). È sotto la influenza delle variazioni di temperatura che il sistema si comporta in modo radicalmente diverso dagli altri sistemi noti. È chiaro che dette variazioni agiscono in modo uniforme su tutti i fili che sono uguali di sezione e di materiale, ed uniformi riusciranno quindi gli allungamenti e gli accorciamenti. Segue che le parti dei conduttori che vengono a formare la linea di contatto si alzano o si abbassano in modo uniforme ossia la linea di contatto si sposta tutta, con grandissima approssimazione, verticalmente. Meccanicamente filo di contatto e filo portante si equilibrano nel loro comportamento reciproco, ed è appunto questo equilibrio che in ciascun istante si stabilisce tra conduttori portati e portanti che rende superfluo qualsiasi tenditore. Come dato di fatto nelle ferrovie Vascongados non fu previsto neanche un solo tenditore, nè ancoraggi intermedi ed anche sulla linea più lunga della rete, che è di 110 chilometri, l'esperienza ha dimostrato non essere necessari in nessun modo i tenditori intermedi nè gli ancoraggi; infatti la intera linea nominata non è ancorata che alle due stazioni terminali.

Nelle stazioni il sistema di 2 + 2 fili giungendo allo scambio di entrata si divide in due sistemi uguali ciascuno di 1 + 1 filo che percorrono i due binari principali della stazione per tornare a formare il sistema 2 + 2 dopo lo scambio di uscita della stazione. Gli altri binari secondari delle stazioni, per essere sufficiente l'equipaggiamento di un solo filo di contatto di 75 mmq. di sezione, dato che le stazioni sono in orizzontale e sono percorse a minori velocità, sono equipaggiate con un filo di contatto e fune portante di acciaio e pendini distanziati di 6 metri.

Dobbiamo rilevare, per amore di esattezza, che non si possono chiamare catenarie nel preciso significato geometrico le particolari linee miste formate dai fili tra due sostegni, in parte sospese ed in parte portanti. Esse nella forma teorica, giacchè in pratica come vedremo sono ancor maggiormente deformate, constano di due archi estremi di una curva parabolica o simile prodotta da un conduttore di peso doppio giacchè porta oltre al proprio anche il peso del conduttore pendente, i due archi suddetti essendo riuniti da un filo che trasmette la tensione meccanica ma di peso zero per essere sospeso ad altro conduttore (fig. 6). Ma anche queste particolari forme miste di curve e rette nel passaggio da un numero infinito ad un numero finito ed assai ridotto di pendini subiscono tali deformazioni

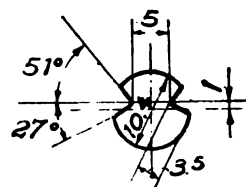


FIG. 5. - Sezione del filo di contatto.

che la catenaria originale diventa una spezzata formata da curve di tipo più o meno parabolico ma con piccolissima invisibile freccia. Ciò premesso e considerando che teoricamente in tutti i sistemi di linee aeree è inesatto chiamare catenaria la forma della conduttura di sospensione, ma che questa espressione è impiegata soprattutto per la sua inconfondibile



FIG. 6. - Forma teorica di una catenaria.

attribuzione, seguiranno a chiamare catenarie i due sistemi incrociati che costituiscono la nostra linea di contatto. Ci sia dunque permesso di chiamare sistema di linea di contatto autocompensata a catenarie incrociate o sfasate, questa struttura essendo formata, in teoria, da due catenarie collegate tra loro in modo tale che le deformazioni uniformi prodotte dalle variazioni di temperatura producono spostamenti verticali dell'intero sistema per i quali la parte del sistema che funziona da linea di contatto rimane praticamente parallela alla via ferrea.

Se passiamo dalla forma teorica del sistema alla applicazione pratica, incontriamo una proprietà particolare del sistema stesso nella limitata quantità di pendini che risultano necessari pel sostegno della parte della catenaria che forma il filo di contatto. Nei sistemi ordinari di catenaria è opportuno mantenere i pendini a distanza all'incirca di 6-8 metri, la tensione meccanica essendo piuttosto bassa. Nel sistema autocompensato sono sufficienti 4 pendini per ciascuna campata anche per quelle della lunghezza di 60-70 metri. La ragione sta in ciò che nella parte centrale della campata, cioè nell'incrocio dei due sistemi di catenarie, il filo $m o b$ di un sistema di catenaria è sostenuto

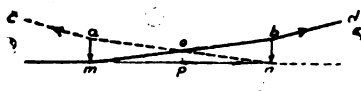


FIG. 7. - Schema di parte centrale di una campata.

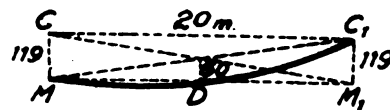


FIG. 8. - Parte centrale di una campata.

in m per mezzo del pendino $a m$ (fig. 7) ed in b dalla componente della tensione trasmessa dalla catenaria montante $m o b d$. Ora i due punti di sostegno m, b possono stare abbastanza lontani fra loro perchè il filo $m b$ formerà fra questi due punti una catenaria propria la cui freccia, per una certa distanza massima $m b$, nelle condizioni di temperatura più sfavorevoli cade all'incirca nel punto p . Ad esempio per le condizioni adottate di temperature massime, di tensioni e di pesi di fili dell'impianto Vascongados menzionato, la freccia massima della catenaria $M D C_1$ (fig. 8) che, trascurando la minima differenza dell'altezza degli appoggi, cade praticamente sulla verticale in D non sporge che di un millimetro dalla orizzontale $M M_1$ per una distanza tra questi due punti di ben 20 metri. Segue che, tolti ad una campata di 60 metri i 20 metri della parte centrale non restano che 20 metri per parte da sostenere (ed anche meno se in corrispondenza della sospensione esiste un braccio di ritenuta) così che collocando un pendino ai due terzi di ciascun tronco si ha una distribuzione uniforme dei pendini. In considerazione anche delle tensioni che in questo sistema si possono impiegare non si producono freccie comunque fastidiose nei tratti così risultanti di fili sospesi alla distanza di 13,3 metri. Risultano così necessari 4 pendini contro 8-10 pendini necessari in altri sistemi.

Questo così limitato numero di pendini trasforma la primitiva parabola funicolare teorica come anche la stessa curva teorica della fig. 6 nella spezzata poligonale formata da

catenarie con frecce minime impercettibili, avente non più di 6 tronchi per ogni campata e per ogni sistema di fili (fig. 9). Il carico dovuto al filo di contatto resta concentrato nei punti di sospensione dei pendini, quello dovuto al peso proprio del filo portante in parte appoggia sulle sospensioni in parte è uniformemente distribuito.

Naturalmente sul filo di contatto si formano piccole catenarie nelle piccole campate tra due pendini, ma anche con le massime temperature, per le tensioni impiegate risultano frecce praticamente trascurabili. Va notato che nella fig. 9 la scala delle ordinate è 10 volte maggiore che quella delle

ascisse. Questo argomento delle ondulazioni del filo di contatto è stato oggetto di speciale attenzione sia nella compilazione del progetto che nell'esame dei risultati pratici. L'apparecchio di presa di corrente è soggetto a continue

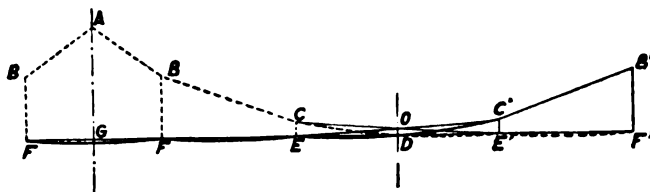


FIG. 9. - Spezzata di catenaria e pendini.

oscillazioni verticali dovute a moltissime cause diverse. Vi sono le differenze di livello talvolta grandi del filo di contatto e quelle minime, dovute alle piccole pancie delle piccole catenarie, le differenze di livello del binario nei giunti ed altrove esaltate poi dalla azione delle molle dei trattori e complicate dalle azioni delle molle in curva specialmente quando si tratti di sopraelevazioni di binario che raggiungono i 140-150 mm., vi è infine il vento, in specie se a raffiche violenti.

Ora parte di queste oscillazioni verticali in un apparecchio di presa di corrente, anche se di media sensibilità, sono completamente smorzate o compensate dalla azione propria della piccola massa del pattino dovuta a molle o al dispositivo di rotazione intorno ad un asse trasversale alla via mentre che per i grandi spostamenti verticali interviene il pantografo stesso col proprio sistema di molle alla base. Ora, per quanto ci consta, non è in uso corrente nella pratica una misura di questa sensibilità dell'apparecchio di presa di corrente. Sembra a noi che sarebbe utile definirla e misurarla, il che a sua volta permetterebbe di fissare i limiti delle differenze di livello o meglio delle inclinazioni ammissibili nelle linee di contatto, per le quali esiste una forma di constatazione perfetta che è lo scintillio. A queste investigazioni, alle quali sarebbe desiderabile contribuissero con accurate ricerche gli esercenti dei servizi di trazione elettrica, apportiamo il contributo assai modesto di qualche osservazione pratica. È noto che da un solo contatto la corrente massima che si può captare si aggira intorno ai 600 ampere, sempre ammesso che la pressione dell'archetto sia sufficiente. Supposto quindi che la corrente da captare con un solo contatto si mantenga in quei limiti, sembra che si possa ammettere che la presa di corrente si effettuerà in buone condizioni cioè senza scintillio sempre che i dislivelli nella linea di contatto che l'archetto è chiamato a superare si svolgano in un tempo ed in uno spazio compatibili con la tensione delle molle, con la massa da accelerare della parte mobile verticalmente dell'apparecchio di presa di corrente e con gli attriti da vincere. È anche evidente che solamente il passaggio da un punto più basso della linea aerea ad un punto più alto, cioè da un ventre ad un nodo o cuspidi delle ondulazioni del filo di contatto, possa produrre il momentaneo distacco dell'archetto e quindi lo scintillio perchè nel caso di un abbassamento del filo di contatto la pressione dell'archetto deve aumentare ed il contatto migliorare. Il risultato delle nostre osservazioni su pantografi esercitanti una pressione

di 5-6 kg. sul filo di contatto è che ad una velocità massima di 25 m.-sec. il contatto si mantiene buono cioè senza scintillio se la rampa o dislivello che l'archetto deve superare sia dell'ordine di grandezza di 10-12 per mille. Ciò corrisponde per la rampa del 10 per mille ad una velocità di sollevamento dell'archetto di 25 e, per la rampa del 12 per mille, di 30 cm.-sec.

Esaminato il nostro sistema di linea di contatto sotto questo aspetto, è risultato che alla temperatura massima, che è quella alla quale si producono le massime rampe del filo di contatto nelle piccole catenarie tra pendino e pendino, nelle varie campate di 60, 50, 40 metri la rampa massima, nelle condizioni più sfavorevoli, ha oscillato entro il 3. ed il 10 per mille. Le campate di 30 metri sono usate in galleria dove, a causa della temperatura assai meno variabile, le rampe massime sono naturalmente assai minori. Il passaggio

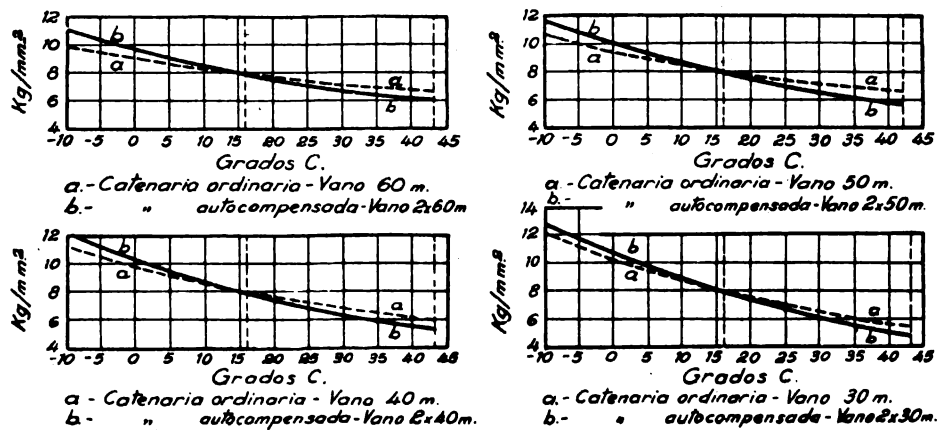


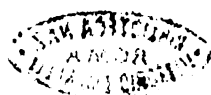
FIG. 10. - Diagramma delle tensioni e temperature delle catenarie ordinarie ed autocompensate.

da un filo in galleria ad un filo in linea aperta si effettua con una inclinazione dal 10 per mille che anche alla velocità di 25 m.-sec. non accusa scintillio.

L'esperienza ha così dimostrato che il limitato numero di pendini è compatibile nella costruzione descritta con un eccellente livellamento della linea di contatto ed una perfetta captazione di corrente. Si può quindi affermare che il filo di contatto rimanga praticamente parallelo al piano del ferro per tutte le temperature.

Principalmente per comodità di montaggio si sono adottate come si è accennato i quattro tipi di campate da 60 a 30 metri, ma naturalmente qualunque lunghezza intermedia può essere scelta, se necessario.

Si deve osservare, riferendosi alle catenarie teoriche autocompensate che sebbene in ciascuna campata l'aspetto dell'insieme delle due catenarie incrociate sia assai simile a quello di una catenaria normale di lunghezza, tensione di base, e peso del filo uguali, pure la variazione della tensione in funzione della temperatura è alquanto distinta da quella di una catenaria ordinaria così che questa combinazione di due sistemi funicolari assume una fisionomia anche teorica propria. La figura 10 contiene i diagrammi comparativi della variazione delle tensioni per le varie campate nel sistema autocompensato teorico e nella catenaria ordinaria teorica equivalente. La tensione base è di 8 kg.-mmq. per entrambe. Tra le investigazioni teoriche confermate poi dalla pratica alle quali il sistema è stato sottoposto si vuole citare quella relativa alla ipotesi di un caso estremo rappresentato dal succedersi di una campata massima di 60 con una minima di 30 metri,



nelle quali naturalmente gli sforzi alla stessa temperatura sono diversi. I conduttori di sostegno essendo fissati nel loro punto di sospensione si devono verificare sulla mensola intermedia di appoggio, differenze di tensione nell'uno o nell'altro senso a seconda delle temperature. È risultato che il massimo effetto si ha pel massimo caldo nel quale la mensola subisce una deviazione angolare di $0^{\circ} 15'$ verso la campata maggiore. È questo un valore del tutto trascurabile anche senza tener conto della elasticità del materiale mentre d'altra parte si può sempre passare da una campata di 60 m. a quella di 30 attraverso una delle campate intermedie di 50 o 40 m.

La lunghezza dei pendini delle campate-tipo dipende dalla temperatura o dalla tensione che si sceglie per base. Considerazioni costruttive e meteorologiche consigliano la adozione di una base di temperatura prossima al 30% della intera gamma delle temperature il che influisce favorevolmente sulla lunghezza dei pendini. Ma oltre a ciò il sistema permette ridurre artificialmente in modo sensibile la freccia in corrispondenza della sospensione. È così possibile ridurre senza alcun inconveniente, entro certi limiti, la lunghezza del pendino più lungo che è quello più prossimo alla sospensione, agendo così direttamente sulla altezza della freccia in corrispondenza della sospensione. Si ottiene in tal modo

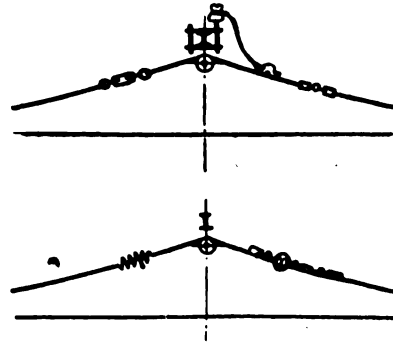
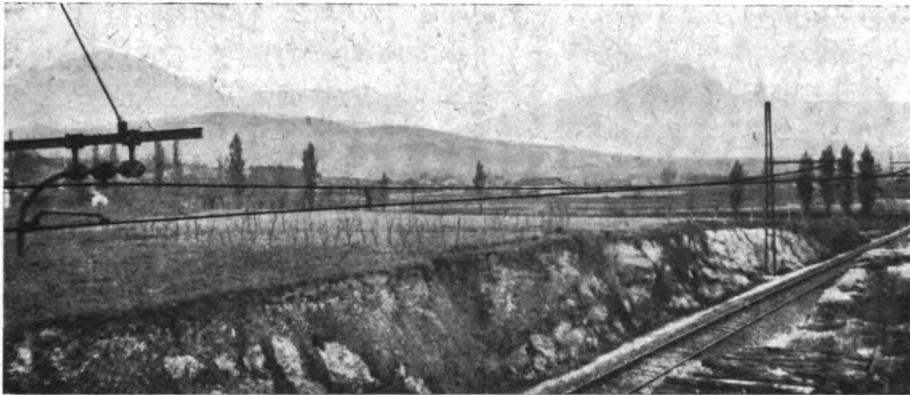


FIG. 11. - Applicazione di giunti, attacchi di *feeders*, tenditori, ecc.



una apprezzabile economia nel costo della sospensione e, per concatenazione, in quello del palo di sostegno. Naturalmente al centro della campata la freccia naturale del sistema delle catenarie autocompensate non subisce mutazioni ma ciò non fa che dare al filo di contatto leggere rampe dal centro verso le due sospensioni della campata dell'ordine di grandezza di quelle considerate come innocenti agli effetti della buona marcia del pantografo, e che sono dello stesso ordine di grandezza delle disuguaglianze della via e dell'effetto delle molle del veicolo.

Tra gli altri vantaggi del sistema si può annoverare quello che i giunti dei fili, attacchi dei punti di alimentazione, applicazioni di eventuali apparecchi di misura o di re-

golazione, possono essere applicati presso la sospensione nella parte portante delle catenarie invece che sul filo di contatto come invece è necessario fare negli altri sistemi (figura 11). Si evitano così numerosi punti duri sul filo di contatto che sono sempre, contemporaneamente, punti di maggior consumo.



FIG. 12. - Misura in derivazione della tensione di un filo.

Altra caratteristica del sistema che ha avuto sanzione da esperienze pratiche è che, nel caso di due fili in parallelo per ciascuna catenaria, se un solo filo si rompe non si ha nessuna deformazione meccanica dell'intero sistema. Se si rompono tutti e due i fili di una stessa catenaria non viene alterata la tensione meccanica dell'altra catenaria la quale per mezzo dei pendini trattiene anzi la catenaria rotta dalla caduta al suolo.

Questa possibilità di operare su una delle catenarie senza toccare o deformare il filo di contatto e, nel caso di catenarie a due fili ciascuna, di operare anzi su un solo filo senza modificare affatto le tensioni degli altri tre ci ha suggerito un metodo di cui non abbiamo trovato finora menzione altrove, per la misura della tensione meccanica di un filo teso senza tagliarlo. Questo metodo consiste nell'applicare in derivazione su uno dei fili della catenaria portante un dinamometro ed un tenditore in serie fra loro (fig. 12). Operando sul tenditore si trasmette alla derivazione formata dal tenditore e dal dinamometro una tensione progressivamente crescente i cui valori sono proporzionali linearmente all'accorciamento prodotto dal tenditore e ciò finchè la derivazione abbia assunto tutta la tensione del filo la quale, nel tratto in questione, viene ridotta a zero.

Se a questo punto si seguita ad agire sul tenditore, la tensione seguirà a crescere ma questa legge di variazione della tensione del filo in funzione dell'accorciamento sarà diversa dalla precedente. Tracciando le due linee che rappresentano le due leggi di variazione della tensione e la linea curva di raccordo tra le due, è nel punto di tangenza della prima linea che è retta, con detta corta curva dove giace il valore della tensione che si voleva misurare (fig. 13). Per la misura dell'accorciamento si può contare il numero di giri di vite del dinamometro ammettendo che il passo della vite sia uniforme. Se questo metodo dovesse servire per analoghe misure ma di grandissima precisione, il dinamometro può essere sostituito da altri tipi di apparecchi meccanici od idraulici di più perfetta regolazione, ma l'esperienza ha dimostrato che con un buon dinamometro ordinario del commercio per i conduttori di rame delle ordinarie linee aeree l'errore massimo può raggiungere il 2 % cioè un valore insignificante per questo genere di misure.

Ad evitare il tracciamento del diagramma abbiamo costruito un Tesometro, cioè una combinazione di un dinamometro ed un tenditore fornito di due lancette, una che indica lo spazio percorso dal tenditore e l'altra lo sforzo di tensione. Esse marcano congiunte finchè si giunga alla tensione iniziale propria del filo da misurare ma principiano a

nel caso di due fili in parallelo per ciascuna catenaria, se un solo filo si rompe non si ha nessuna deformazione meccanica dell'intero sistema. Se si rompono tutti e due i fili di una stessa catenaria non viene alterata la

tensione meccanica dell'altra catenaria la quale per mezzo dei pendini trattiene anzi la catenaria rotta dalla caduta al suolo.

Questa possibilità di operare su una delle catenarie senza toccare o deformare il filo di contatto e, nel caso di catenarie a due fili ciascuna, di operare anzi su un solo filo senza modificare affatto le tensioni degli altri tre ci ha suggerito un metodo di cui non abbiamo trovato finora menzione altrove, per la misura della tensione meccanica di un filo teso senza tagliarlo. Questo metodo consiste nell'applicare in derivazione su uno dei fili della catenaria portante un dinamometro ed un tenditore in serie fra loro (fig. 12). Operando sul tenditore si trasmette alla derivazione formata dal tenditore e dal dinamometro una

tensione progressivamente crescente i cui valori sono proporzionali linearmente all'accorciamento prodotto dal tenditore e ciò finchè la derivazione abbia assunto tutta la tensione del filo la quale, nel tratto in questione, viene ridotta a zero.

Se a questo punto si seguita ad agire sul tenditore, la tensione seguirà a crescere ma questa legge di variazione della tensione del filo in funzione dell'accorciamento sarà diversa dalla precedente. Tracciando le due linee che rappresentano le due leggi di variazione della tensione e la linea curva di raccordo tra le due, è nel punto di tangenza della prima linea che è retta, con detta corta curva dove giace il valore della tensione che si voleva misurare (fig. 13). Per la misura dell'accorciamento si può contare il numero di giri di vite del dinamometro ammettendo che il passo della vite sia uniforme. Se questo metodo dovesse servire per analoghe misure ma di grandissima precisione, il dinamometro può essere sostituito da altri tipi di apparecchi meccanici od idraulici di più perfetta regolazione, ma l'esperienza ha dimostrato che con un buon dinamometro ordinario del commercio per i conduttori di rame delle ordinarie linee aeree l'errore massimo può raggiungere il 2 % cioè un valore insignificante per questo genere di misure.

Ad evitare il tracciamento del diagramma abbiamo costruito un Tesometro, cioè una combinazione di un dinamometro ed un tenditore fornito di due lancette, una che indica lo spazio percorso dal tenditore e l'altra lo sforzo di tensione. Esse marcano congiunte finchè si giunga alla tensione iniziale propria del filo da misurare ma principiano a

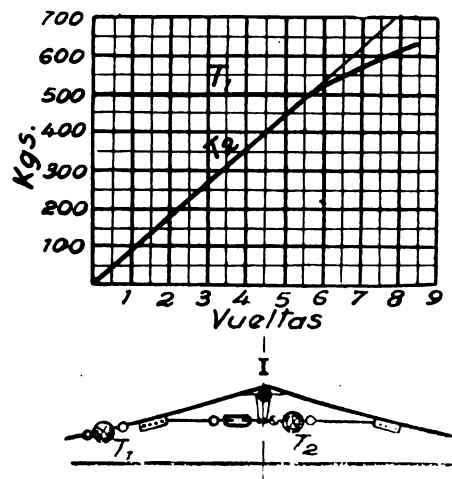


FIG. 13. - Diagramma della misura di tensione.

divergere non appena questo valore iniziale venga oltrepassato, il che avviene perchè al punto menzionato la elasticità del filo da misurare entra in gioco (fig. 14). L'apparecchio è assai robusto e leggero. Il metodo di misura è risultato rapido ed esatto. Il controllo delle tensioni ha maggiore importanza di quella che generalmente non venga accordata. Secondo la nostra esperienza molti tra i montatori di linee aeree soprattutto nella revisione stagionale delle linee non amano impiegare strumenti di misura delle tensioni che, del resto, non sono sempre comodi, e frequentemente giudicano le stesse in base alla loro esperienza personale o, indirettamente, dalle frecce. Ciò può dare luogo ad errori considerevoli e succede frequentemente che, al sopraggiungere di basse temperature un po' fuori dell'ordinario, rotture di isolatori o varie deformazioni improvvisi accusino il difetto ma, naturalmente, in ritardo.

La vita dei conduttori, nel sistema autocompensato, è più lunga che negli altri sistemi perchè quando il filo di contatto abbia raggiunto un consumo che ne consiglia il ricambio basta invertire tra loro la posizione delle due catenarie per ottenere un filo di

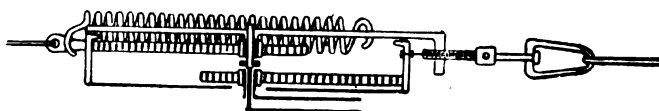


FIG. 14. - Tesametro.

contatto completamente nuovo. Così, ammettendo nei sistemi di catenaria ordinaria che il consumo del filo di contatto, misurato secondo il diametro verticale del filo, abbia raggiunto il 20 % di detto diametro, al quale corrisponde una diminuzione di sezione approssimata del 15 % e che, sia in vista dell'aumento di resistenza elettrica, che per il pericolo che l'archetto vada a toccare le estremità inferiori delle ganasce dei morsetti dei fili, si ritenga giunto il momento di dover sostituire il filo consumato con un filo nuovo ed ammettendo infine che questo consumo si ottenga dopo 400.000 passaggi di pantografo, si potrà invece, nel caso del sistema autocompensato migliorare tutte le condizioni eseguendo detta sostituzione dopo soltanto 300.000 passaggi di pantografo, invertendo tra loro come si è detto le due catenarie. La riduzione della sezione del filo di contatto per 300.000 passaggi di pantografo sarà solamente dell'11 % e la vita totale dei conduttori portanti e portati sarà uguale a 2×300.000 così che il rapporto tra l'uno e l'altro caso sarà di 600.000 a 400.000 ossia la vita sarà prolungata di una metà almeno rispetto al sistema ordinario di catenaria. Oltre a ciò il complesso dei fili usati da rivendere sarà consumato dell'11 invece che del 15 %. Dal punto di vista meccanico, tale riduzione dell'11 % della sezione del filo che diventa portante è ammissibile senza preoccupazione perchè anche per la sollecitazione massima di 11-12 kg.-mmq. di tensione e più che il sistema autocompensato ammette facilmente, è ammissibile l'aumento di tensione menzionato prodotto dalla diminuzione di sezione, per restare ancora tali sollecitazioni assai lontane da quelle producenti deformazioni permanenti, trattandosi di un materiale pel quale è facile conseguire un valore di resistenza alla rottura di 38-40 kg.-mmq. come è ad esempio il filo usato nella istallazione citata delle ferrovie Vascongados.

Il sistema autocompensato può impiegarsi promiscuamente con il sistema di catenaria ordinaria senza necessità di ancoraggi o giunti speciali, il che, in certi casi può es-

sere utile (fig. 15). Anche una sola campata di catenaria ordinaria può essere inserita in una serie di campate di catenarie autocompensate il che può trovare speciali applicazioni come ad esempio per sostenere per mezzo di pendini gli scambi di un sistema trifase. In quanto ai risultati di esercizio della applicazione del sistema si osserva che esso è in esercizio da circa due anni sulla nominata rete delle Ferrovie Vascongados dove ha avuto

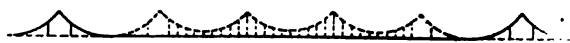


FIG. 15. - Passaggio da catenarie autocompensate a catenarie ordinarie e viceversa.

l'opportunità di superare le prove più ardue, quelle cioè delle temperature limiti. Per un caso estremamente raro che secondo le statistiche esistenti che abbracciano un periodo di 44 anni non si era mai avverato, in uno stesso periodo di 7 mesi (luglio-febbraio) si sono registrate le temperature estreme di $+42^{\circ}$ e di -9° C, assai prossime a quelle massime assolute che, secondo le citate statistiche, si erano presentate una sola volta durante gli ultimi 44 anni, ma in annate diverse, e che erano di $+43^{\circ}$ e di -10° C. Sebbene ciò avvenisse subito nel primo anno di esercizio quando il montaggio era appena terminato

pure non si ebbe a constatare danno di qualsiasi sorta. Nè, da allora, è stato necessario apportare alcuna modificazione o adattamento al sistema ad onta che questa applicazione, per essere fatta nelle più difficili condizioni immaginabili di tracciato, abbia dovuto adattarsi alle eccezionali tensioni meccaniche dovute alle curve minime di 60 m. di raggio. Per la particolarità del sistema che l'equilibrio delle tensioni si stabilisce tra le varie sue parti, ad ogni istante, si possono adottare tensioni più alte che in altri sistemi con che il filo resta sempre meglio teso anche sotto le più alte temperature con vantaggio di minori frecce e riduzione sensibile delle oscillazioni trasversali del filo di contatto.

L'esperienza dell'esercizio ha anche dimostrato esatta la previsione che l'incrocio dei due sistemi di catenaria al centro di ogni campata agisce da freno sulle oscillazioni trasversali dei conduttori dovute e al vento e alla stessa marcia dei pantografi al quale anche la marcia naturalmente sinuosa del trattore imprime urti trasversali. Sotto l'azione del massimo vento ed alle massime velocità di marcia nei lunghi rettili che possono raggiungere gli 80 km.-ora, lo smorzamento di ogni impulso trasversale è praticamente istantaneo.

In quanto al consumo del filo, il periodo trascorso è breve ma ha già dimostrato che non si notano differenze di consumo tra punti qualsiasi della linea ed i punti di incrocio delle catenarie. Inoltre comparando il consumo finora constatato con quello di altre importanti linee americane questo confronto risulta favorevole al sistema autocompensato

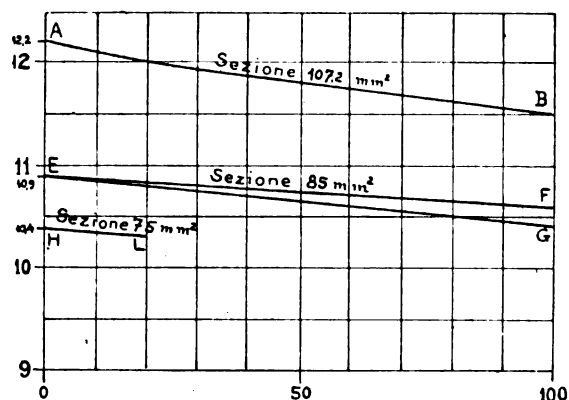


FIG. 16. - Consumi dei fili di contatto.

Migliaia di passaggi di pantografo.

AB 107,2	Chicago-Milwaukee, St. Paul & Pennsylvania R. R.
" " "	Illinois Central R. R.
" " "	New-York, New Haven & Hartford R. R.
EF 85	Illinois Central R. R.
EG "	Pennsylvania R. R.
HL 75	Ferrocarriles Vascongados.

sebbene finora in misura minima. La fig. 16 contiene infatti una parte dei diagrammi di consumo di fili di contatto di linee americane pubblicate da I. T. Landhy nelle *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers* nel n. 4 dell'ottobre 1929. (I., T. Landhy, *Contact Wire Wear on Electric Railroads; Transactions of the A. I. E. E.* october 1929).

La linea AB si riferisce ad un filo di 107,2 mmq. di sezione ed alle note linee C. M. St. P. & P. R. R.; I. C. R. R.; N. Y. N. H. & H. R. R. la linea EF e la EG riguardano un filo di 85 mmq. di sezione e cioè la EF è della I. C. R. R. e la EG è della Pennsylvania R. R. ma il minor consumo della EF è dovuto al fatto che il filo è di un rame speciale al cadmio che sembra resistere assai bene all'usura. La linea HL raccoglie i risultati ottenuti finora sul filo da 75 mmq. di sezione delle linee Ferrocarriles Vascongados.

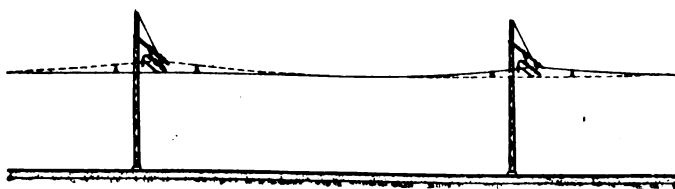


FIG. 17. - Linea di contatto autocompensata.

Ora per quanto il tratto HL sia ancora breve pure appare già che la sua inclinazione è comparabile con quella delle linee AB ed EG ma piuttosto alla parte di queste linee che è prossima alla ordinata dei 100.000 passaggi di pantografo. Nelle curve molto ristrette ed in corrispondenza delle sospensioni si notano consumi maggiori dovuti agli enormi sforzi ma ciò non ha nulla da fare col sistema

Come indicano le stesse linee AB ed EG e, come è naturale, la tendenza del consumo essendo quella di diminuire per le aumentate superfici di attrito sembra si possa ammettere che, per lo meno, nel sistema autocompensato il consumo del filo di contatto non è superiore a quello degli altri sistemi.

Il sistema descritto ha quindi ricevuto la sanzione della pratica ed ha dimostrato di possedere una particolare efficienza tecnica ed economica per le caratteristiche principali dei fili che hanno utilizzazione elettrica e meccanica completa essendo tutti conduttori e tutti di sospensione e di contatto alternativamente, per richiedere un limitato numero di pendini, per godere di una autoregolazione contro le variazioni di temperatura tale da rendere superflui tenditori ed ancoraggi, e da evitare laboriose revisioni stagionali, per una più lunga vita dei fili dovuta alla possibilità di reciproca sostituzione dei due sistemi di catenarie. Tanto il costo della linea come quello del montaggio nell'impianto Vascongados sono risultati, a parità di rame e di tutte le altre condizioni, inferiori a quelli di altri sistemi offerti in un concorso mondiale da tutte le maggiori case. Inoltre il consuntivo di costo, ad onta che si trattasse della prima applicazione di un sistema nuovo, è risultato inferiore al preventivo. Anche dal lato estetico il sistema si presenta elegante perchè i rari pendini e la convergenza al centro della campata delle due catenarie, insieme alle ridotte frecce in corrispondenza delle sospensioni dà un aspetto di leggerezza sommamente maggiore che negli altri sistemi ad onta della notevole quantità di rame (fig. 17). Nel collaudo dell'impianto fatto dall'Ispettorato delle Ferrovie spagnole si è voluto far rilevare espressamente ed in forma ufficiale la riuscita perfetta e la novità del sistema italiano.

Diremo infine che il principio di una struttura funicolare formata da due catenarie o mezze catenarie od anche da spezzate poligonali incrociate con le conseguenti proprietà sopra elencate sembra possa suggerire qualche altra utile applicazione oltre quella già descritta di linea di contatto. Accenneremo solo al dispositivo per attraversamenti di strade, ferrovie, ecc., da parte di linee ad alta tensione, che può assumere costruzioni diverse. Analogamente si possono costruire sostegni funicolari trasversali per sospensioni

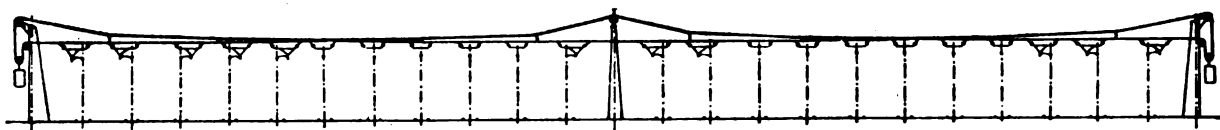


FIG. 18. - Sostegno funicolare trasversale per stazione con molti binari.

nelle stazioni con grande numero di binari (fig. 18) o sostegni trasversali per sospensioni trasversali tranviarie. Infine sembra possibile la applicazione a costruzioni economiche di ponti o passerelle sospese smontabili e trasportabili.

II. — LA LINEA DI CONTATTO VASCONGADOS

La elettrificazione della rete Ferrovie Vascongados è stata seguita in Spagna con particolare interesse dal mondo tecnico e, in particolare, dalle autorità statali ferroviarie, non solo come si è detto per la novità del sistema autocompensato che vi trovava la sua prima applicazione, ma anche per la importanza delle linee e soprattutto per le numerose e gravi difficoltà di tracciato e di esercizio. Per limitarci qui a quelle difficoltà che si riferiscono alla sola linea aerea e che hanno richiesto particolare cura si è già visto come si era potuto risolvere il problema dell'impiego di notevoli quantità di rame in forma efficiente ed economica. Ma per superare la difficoltà delle curve ristrettissime dove il problema era appunto aggravato dalla notevole quantità di rame, dal sensibile scarto delle temperature e dalle elevate tensioni meccaniche scelte bisognava decisamente ricorrere a costruzioni di sospensioni e poligonazioni con relativi accessori speciali appositamente dimensionate. Fortunatamente la struttura del sistema autocompensato, e ciò ne costituisce altro pregio, non richiede speciali esigenze per la apparecchiatura di sospensione e di poligonazione.

Queste costruzioni speciali offrono un interesse particolare pel fatto che esse rappresentano la soluzione di casi limiti o estremi. Crediamo di non errare affermando che gli sforzi che si presentano nelle costruzioni studiate per l'impianto Vascongados sono i massimi che possono riscontrarsi in costruzioni normali di linee aeree. Nelle poligonazioni della linea di contatto nelle curve minime di 60 e di 100 metri di raggio e con quantità tale di 300 mmq. di rame di cui 150 sulla linea di contatto si hanno sforzi su quest'ultima di 400 kg. circa e quindi di 800 kg. sulla sospensione. Se non erriamo questi devono essere gli sforzi massimi constatati su linee di contatto.

In Italia si incontrano notevoli quantità di rame sulle linee elettrificate delle Ferrovie dello Stato ma le curve minime non sono di massima inferiori ai 300-250 metri ed il tipo di sospensione è, generalmente, trasversale con pali frequenti e quindi campate corte. Là dove la sospensione è longitudinale è in ogni caso la tensione meccanica piuttosto bassa.

Nelle linee elettrificate a scartamento normale esercite dalla industria privata incontriamo bensì curve minime di 150 ed, eccezionalmente, di 120 m., ma per le minime quantità di rame, che non passano gli 80 mmq. gli sforzi massimi non hanno nulla di eccezionale.

È nelle linee a scartamento ridotto che vanno ricercati sforzi molto alti. Vi sono in Italia, su 3650 km. di ferrovie a scartamento ridotto circa 1100 km. di tali linee elettrificate, esercite per i 60 km. di una vecchia linea austriaca, dallo Stato e, per il resto, dalla industria privata. In tali linee elettrificate si incontrano raggi di curve minime che vanno dai 100 ai 24 metri. Si tratta invero di linee aventi più carattere tranviario che ferroviario e soprattutto di linee con carattere montano. Tutte quelle aventi curve minime comprese tra 34 e 70 metri di raggio hanno infatti pendenze comprese tra il 45 ed il 95 per mille ed alcune maggiori, a dentiera, con velocità bassissime e servizio merci o inesistente o minimo.

Ma neanche fra le poche linee aventi curve minime superiori a 70 metri di raggio si trovano servizi pesanti di viaggiatori o merci, la composizione media dei treni non superando, ed in un solo caso, le 83 tonn. per i treni viaggiatori e le 65 tonn. per i treni merci. In conseguenza di ciò nessuna delle linee a scartamento ridotto impiega più di 100 mmq. di rame e quasi tutte impiegano la sospensione trasversale. Calcolando gli sforzi massimi che in dette linee aeree possono risultare alle più basse temperature si trova che su una trentina di impianti gli sforzi massimi si riscontrano solo in due o tre di essi ed in questi essi non passano il 60 % di quelli che si riscontrano nella rete Vascongados. La importanza di questa rete che non è la unica in Spagna non è comparabile con nessuna delle linee italiane a scartamento ridotto trattandosi nel caso della rete Vascongados di linea di primaria importanza, con treni viaggiatori e merci assai pesanti e frequenti, con servizi internazionali di frontiera offrendi notevole conforto.

Vogliamo rilevare incidentalmente che le reti a scartamento ridotto hanno altrove uno sviluppo assai maggiore che da noi e vanno tuttora sviluppandosi per la importante funzione economica alla quale rispondono. Vi sono in Francia non meno di 15.000 km. di linee di un metro, ve ne sono circa 4000 km. in Belgio e 3000 km. in Spagna con servizi anche di lusso. Ad esempio sulla stessa linea elettrificata Bilbao-S. Sebastian, della quale parliamo, insieme con la elettrificazione è stato introdotto un servizio di *buffet* caldo che, sia detto tra parentesi agli elettrotecnici, è alimentato direttamente da corrente elettrica a 1750 volt, servito su modernissime vetture Pullmann di gran lusso, servizio prestato dalla stessa Compagnia Internazionale delle Vetture-Letto.

In America vi sono linee importanti a scartamento ridotto con servizi di vetture-letto e ad alte velocità. Va rilevato che le più lunghe ed importanti linee italiane a scartamento ridotto furono elettrificate con assai alte tensioni. Inoltre le linee stesse non presentano in generale traffico pesante intenso. Ma tali problemi potranno, col tempo e con le applicazioni della corrente continua, presentarsi anche da noi.

Ci limiteremo ora a descrivere assai brevemente le costruzioni principali studiate ed applicate nell'impianto spagnolo, rimandando anche per questa parte costruttiva per maggiori particolari alla Memoria già citata. Allo scopo di concentrare in una sola costruzione gli organi di fissaggio dei fili di contatto e di quelli portanti, di assicurarne la esatta posizione reciproca, e cioè fissa in senso orizzontale e, per i fili di contatto, variabile con frecce entro limiti determinati ma sempre percorrenti una determinata linea verticale,

tutto ciò essendo richiesto da ragioni di precisione, di economia, di robustezza e di facilità di montaggio, si è adottato il tipo di sospensione rappresentato dalla fig. 19. Oltre alle caratteristiche accennate si possono attribuire a questa costruzione le proprietà se-

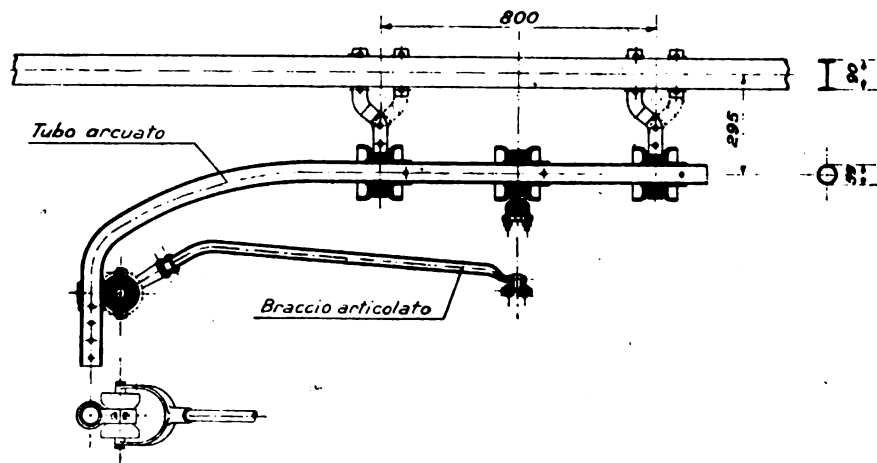
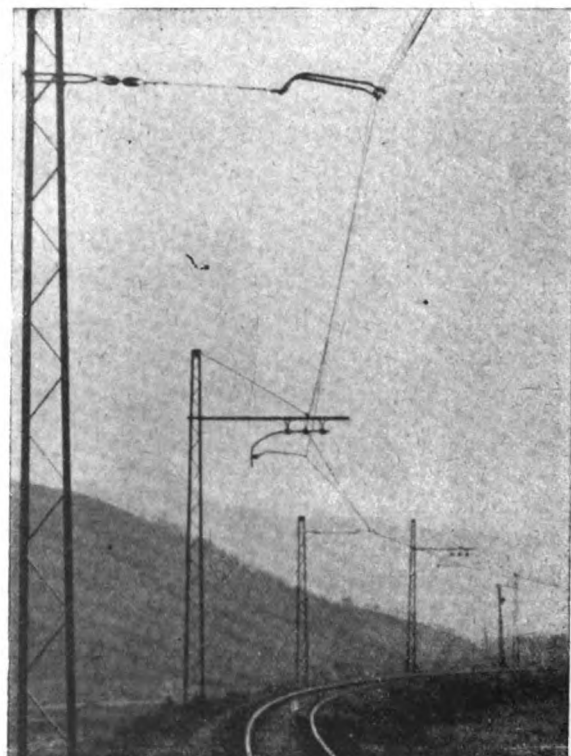
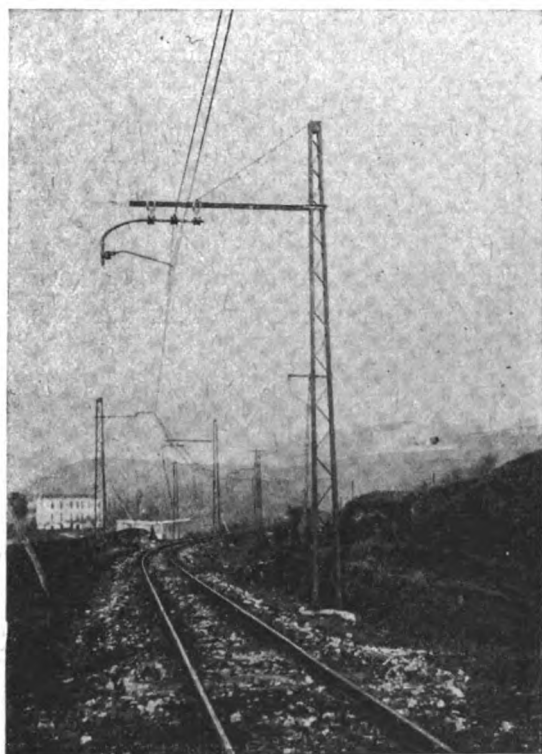


FIG. 19. - Tipo di sospensione con doppiq isolamento.

guenti. È una sospensione invertibile con che si possono collocare i sostegni sull'uno o sull'altro lato della via indifferentemente, può essere adoperata come sospensione o come sostegno di una poligonazione, tutti gli isolatori vi sono soggetti a sforzi prevalentemente di compressione contro i quali la porcellana offre la massima resistenza (da 1500 a 5000



kg.-cmq.). Si aggiunga che il sistema meccanico della sospensione e degli isolatori è concatenato ossia nel caso di distruzione completa di uno o di tutti i 4 isolatori nessuna delle parti della sospensione o accessori può cadere. È un tipo di sospensione applicabile sia in linea che nelle stazioni il che non avviene sempre di tutti i tipi di sospensioni.

Nella istallazione Vascongados si è adottato il doppio isolamento. Là dove isolamento semplice fosse preferito la sospensione assume l'aspetto della fig. 20. Gli isolatori sono eccezionalmente robusti e per resistere ad una tensione di 22.000 volt sotto pioggia sarebbero sufficienti anche per semplice isolamento. La sospensione è composta principalmente di un tubo Mannesmann, curvato ad angolo retto. Nella parte superiore orizzontale porta infilati sul tubo tre isolatori due dei quali per mezzo di collari fissano la sospensione alla mensola ed il terzo porta il morsetto per fissare il filo o i fili portanti. Gli isolatori sono montati su tubi di ferro entro i quali passa il tubo curvato della sospensione.

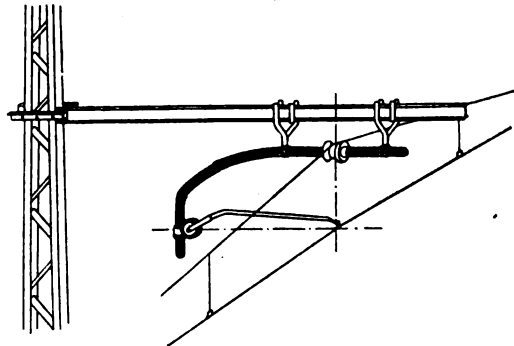


FIG. 20. - Tipo di sospensione con isolamento semplice.

Sulla parte verticale del tubo della sospensione può scorrere un collare che porta un isolatore anch'esso con anima metallica formante articolazione del braccio alla cui estremità si trova il morsetto che afferra il filo o i fili di contatto. Se i fili di contatto sono due e le curve molto strette si possono con vantaggio impiegare due bracci ottenendo punti meno duri.

I grandi sforzi nelle ristrette curve di cui si è ripetutamente parlato hanno obbligato ad una cura speciale nella scelta della qualità dei materiali per evitare costruzioni ingombranti e pesanti. Così, ad esempio, negli angoli di poligonazione più acuti gli sforzi sulla sospensione passano come si è visto gli 800 kg. e nelle pinze o morsetti di fissaggio dei due fili di contatto lo sforzo su un pernetto centrale raggiunge i 32,5 kg.-mmq. Si sono quindi adottati per il tubo curvato della sospensione e pel tubetto del braccio o dei bracci articolati, tubi Mannesmann di acciaio di alta resistenza e cioè di 55-65 kg.-mmq. e per il perno del morsetto, acciaio al cromo di 100 kg.-mmq. di resistenza. Diremo di passaggio che secondo la nostra esperienza l'uso di materiali di alta resistenza, se bene applicato, apporta economie.

Nelle curve si sono impiegate una o due poligonazioni a seconda del raggio della curva, ciascuna poligonazione essendo costituita da un tirante in fune di acciaio doppiamente isolato dal palo per mezzo di due isolatori ad ovulo e da braccetti sagomati analoghi a quelli della sospensione ed ugualmente in tubo Mannesmann (fig. 21), i quali braccetti portano alla estremità i morsetti per i fili di contatto e portanti. Le lunghezze normali delle campate essendo di 60, 50, 40 metri nella linea all'aperto e 30 m. in galleria le lunghezze parziali delle poligonazioni a seconda della divisione in due o tre parti sono le seguenti:

60/2 50/2 40/2 50/3 30/2 40/3

Le poligonazioni sono state fatte con lunghezze parziali assai limitate allo scopo di ottenere un coefficiente di sicurezza della marcia del pantografo che può dirsi assoluto.

Per analoghe ragioni di sicurezza di esercizio si è voluto adottare la altezza del filo di contatto sul piano del ferro di m. 5,75 con un minimo di 5,50 m. In molte delle altre istal-lazioni spagnole, per mancanza di prescrizioni statali, si è collocato il filo di contatto

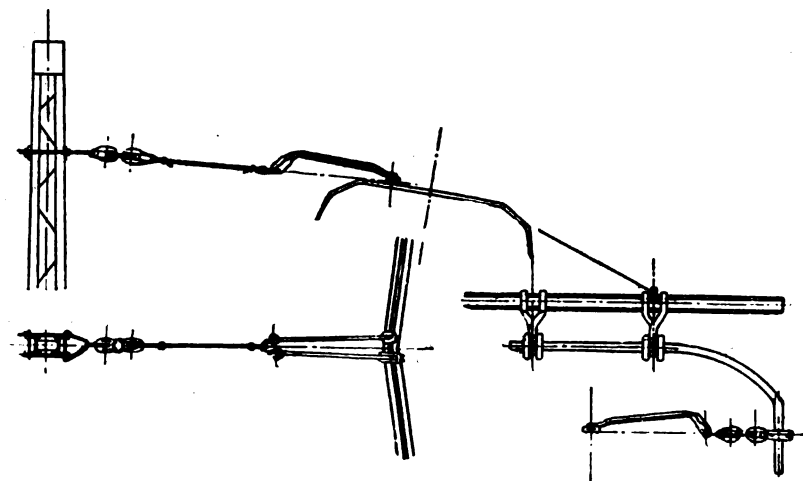


FIG. 21. - Tipi di poligonazione.

a 4,50 m. dal ferro il che a parer nostro è assai pericoloso. Si noti che la differenza di altezza da 4,50 a 5,75 del filo di contatto ha prodotto una maggior spesa di pali e fondazioni di circa due milioni di lire italiane, ma non abbiamo esitato a dare la preferenza alla sicurezza sulla economia.

Ora data la velocità relativamente alta che abbiamo adottato su questa linea, la quale in rettilineo sorpassa i 75 km.-ora ma ciò che è più importante raggiunge i 55 km.-ora nelle curve di 100 m. di raggio contro i 40 km. prescritti da tutte le Amministrazioni Statali o Società ferroviarie, si doveva tener conto anche degli scarti laterali del pantografo rispetto al filo di contatto, che per l'alta velocità, per le curve ristrette e di brusco passaggio, pel gioco delle molle dei trattori, per la notevole altezza della sopraelevazione della

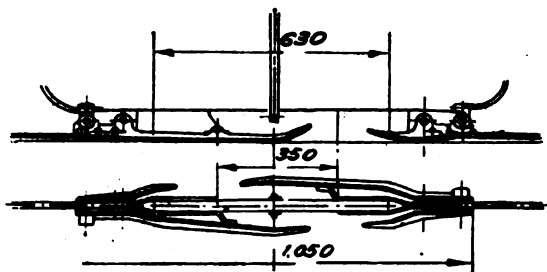


FIG. 22. - Isolatore di sezione con isolamento in legno.

rotaia esterna, per la altezza sensibile del filo di contatto ed infine per la azione laterale del vento si potevano produrre e sommare.

Era perciò necessario che il zig-zag del filo rispetto all'asse della via o meglio al centro, alquanto variabile, dell'archetto di contatto fosse più limitato che ordinariamente non si usi nelle linee a corrente continua o monofase. La lunghezza dell'archetto essendo di 1200 mm., ché una lunghezza maggiore trovava impedimento nella sagoma specialmente nelle gallerie, si sono scelti spostamenti laterali massimi tra filo ed archetto per le varie curve, di ± 260 mm. che però nelle curve di 100 m. sono di 250 mm. ed in quelle di 60 m. sono di 180 mm.

L'esperienza ha dimostrato che questi valori così limitati garantiscono una sicurezza assoluta.

Un altro organo importante è l'isolatore di sezione. Si sono impiegati due tipi, l'uno ad isolamento in legno, l'altro ad isolamento ad aria. Il primo è molto usato in Italia dove noi stessi l'abbiamo installato fin dal 1900 nelle linee Valtellinesi e dove ha fatto buona

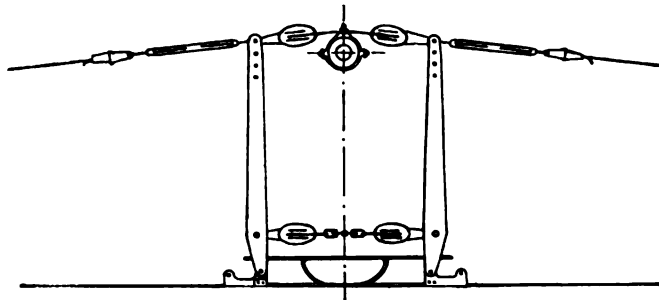


FIG. 23. - Isolatore di sezione con doppio isolamento in porcellana.

prova su tutte le linee trifasi a circa 4000 volt. In Spagna è stato impiegato legno di acacia cotto in olio di lino e lo si è sottoposto a sforzi massimi alla trazione di 0,4 kg.-mmq. (fig. 22) la parte isolante essendo di trenta centimetri di lunghezza. Ma per corrente continua, dove lo spegnimento di un arco casuale è assai difficile, siamo personalmente favorevoli ad onta del maggior costo, al tipo con isolamento ad aria ed in porcellana indicato schematicamente nella fig. 23.

In fatto di isolamento si è rispettato rigorosamente il principio del doppio isolamento che nel caso della linea in questione rappresentava pure una maggior sicurezza.

Per evidenti ragioni costruttive hanno fatto eccezione a questo rigoroso principio appunto i sezionatori con isolamento in legno e questa è altra ragione della preferenza che specialmente in questi casi vorremmo dare al sezionatore interamente metallico (figura 23) con isolamento ad aria e con doppio isolamento di porcellana. Meno agevole era rispettare il principio del doppio isolamento negli ordinarî isolatori a perno utilizzati per le connessioni tra linee e sottostazioni, e tra sezionatori di linea e gli interruttori. Tale scopo si è raggiunto con un sistema che, se non è ortodosso, è pure risultato assai efficace avvitando nell'interno di un buon isolatore di porcellana (fig. 24) costruito per una tensione di esercizio di 11.000 volt, un cappuccio o ditale di buon faggio ben secco e cotto in olio di lino, nell'interno del quale è stato avvitato il perno di ferro.

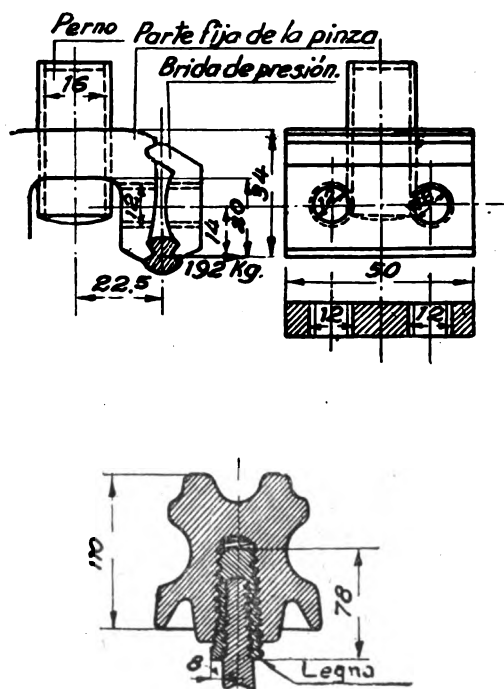
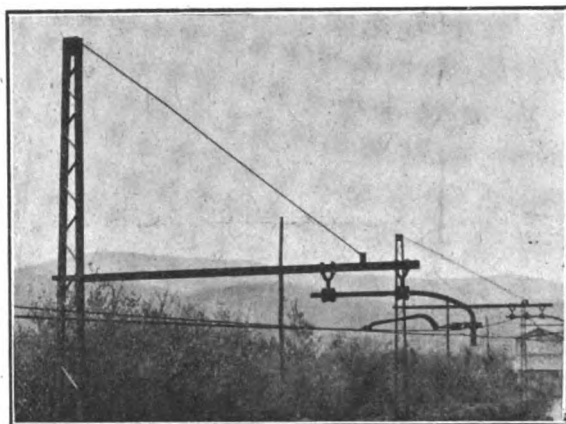


FIG. 24. - Isolatore doppio in porcellana e legno.

Detto cappuccio che ha una sufficiente resistenza meccanica ed una eccellente elasticità presenta la notevole resistenza di elettrica di 4500 volt e, per aver perduto la igroscopicità e per essere al coperto dai diretti agenti atmosferici, offre buone garanzie di conservazione. Finora il risultato è stato eccellente, e per casi analoghi è raccomandabile.



Un problema che nella corrente continua presenta notevoli difficoltà di una soluzione economica è quello degli interruttori di linea. Ad onta che le sottostazioni siano provviste di interruttori automatici extra rapidi che nei pochi tipi più perfetti esistenti danno sufficienti garanzie di protezione della sottostazione, pur tuttavia è sempre desiderato dallo stesso personale del movimento e da quello della manutenzione delle linee di disporre di

maggiori sezionamenti delle linee comandati da interruttori capaci di funzionare con sicurezza anche sotto carico.

Ma l'impiego dei mastodontici interruttori del tipo usato nelle sottostazioni risulta assai costoso anche perchè essi sono destinati ad essere ricoverati in luogo chiuso e richiedono uno spazio considerevole, mentre che altri tipi correnti di interruttori non possono

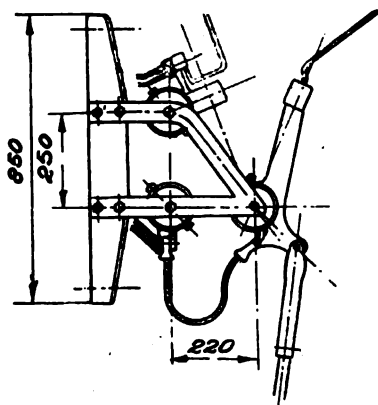


FIG. 25. - Interruttore a coltello.

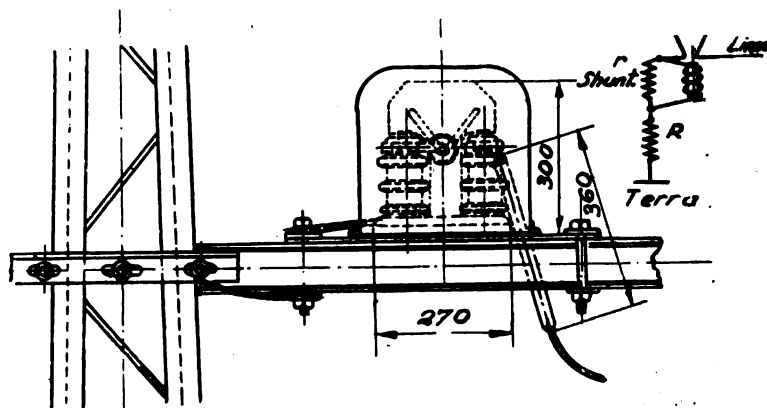


FIG. 26. - Scaricatore atmosferico.

interrompere grandi correnti e tanto meno corti circuiti ed inoltre, più che frequentemente la costruzione di questi ultimi non è abbastanza robusta per essere maneggiati anche da personale non specializzato come è quello ferroviario del Movimento. Nella impossibilità pratica di risolvere completamente ed economicamente questo problema con i mezzi di cui si dispone attualmente abbiamo cercato di costruire un tipo di interruttore normale a coltello e corna destinato ad interrompere, normalmente, senza corrente ed abbiamo dato a questa costruzione la massima robustezza possibile, usando tra l'altro, gli stessi tipi di isolatori delle sospensioni (fig. 25).

L'esperienza fatta è che, come è successo durante il periodo di prove, aperti sotto corrente con qualche centinaio di ampère hanno ancora potuto interrompere ma di fronte a carichi altissimi o a corti circuiti, come era da attendersi, sono impotenti. La difficoltà fondamentale da superare è di spegnere l'arco a corrente continua eccezionalmente resistente e vagante.

Si sono protette le linee per mezzo di scaricatori atmosferici di due tra i migliori tipi del commercio di cui uno è rappresentato dalla fig. 26 essenzialmente formato da corna regolabili con spirale magnetica di soffiamento shuntata per mezzo di resistenza e con altra resistenza in serie. Le resistenze sono di silite. Questo delle protezioni delle linee di trazione è un campo dove l'esperienza pratica è ancora limitata. Interpellate le case produttrici più importanti in merito al miglior mezzo di protezione le opinioni sono state alquanto discordi perchè alcuni costruttori hanno consigliato porre uno scaricatore ogni 500 metri ed altri invece hanno vivamente consigliato di prescindere da qualsiasi apparecchio di protezione sulla linea oltre quelli già montati nelle sottostazioni e nei trattori. Noi abbiamo constatato che, prima di collocare gli scaricatori quando la linea non era ancora sotto tensione si è avuta una violenta scarica atmosferica che, dal filo di contatto attraverso una catena di isolatori ad ovulo (fig. 27) ha

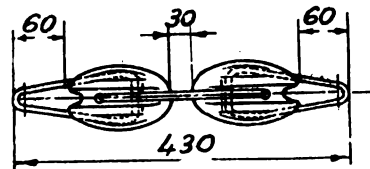


FIG. 27. - Catena di ovuli.

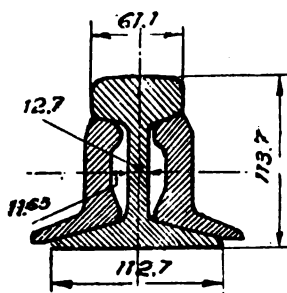


FIG. 28. - Sezione di rotaia da 35 Kg.m.

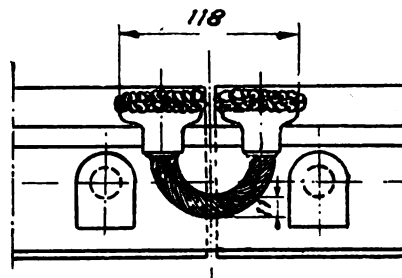


FIG. 29. - Giunto elettrico di rotaia da 100 mmq.

raggiunto la terra attraverso il palo metallico. Notisi che la linea essendo ancora in costruzione aveva una « terra » a 25 km. di distanza dal luogo della scarica; distanza evidentemente troppo grande.

La buona conducibilità della linea di terra è stata assicurata da due giunti di 100 mmq. in rame uno per ciascuna rotaia. La forma della sezione della rotaia da 32 (fig. 28) o da 35 kg.-m. che sono i tipi adoperati e soprattutto la costruzione molto appiattita delle stecche non hanno permesso di collocare i giunti elettrici sotto le stecche medesime. Ma la scelta di un giunto di rame ad U (fig. 29) saldato elettricamente alla testa delle rotaie, ma tanto corto da non poter essere ribaltato sul fuogo della rotaia ha conseguito lo scopo di rendere il furto praticamente nullo. Anche tutti i pali metallici sono connessi con le rotaie.

La palificazione, in ferro, è stata studiata appositamente. I pali di linea per sospen-

sioni e poligonazioni sono formati da due montanti principali a doppio T che resiste trasversalmente meglio del profilo a C generalmente usato, con traliccio piatto.

I pali di stazione hanno per montanti 4 angolari (fig. 30). Nelle prove di resistenza si è trovata una assai buona corrispondenza, nella misura della freccia tra i valori calcolati e quelli ottenuti nella prova (fig. 31).

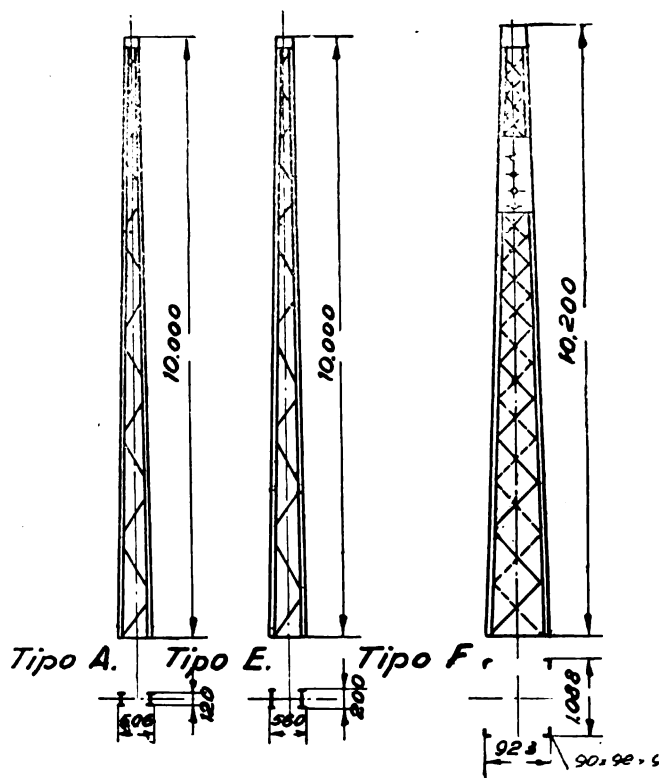


FIG. 30. - Tipi di pali per sospensione e ancoraggio.

Si sono costruiti cinque tipi diversi di pali di sospensione, quattro di poligonazione e tre di ancoraggio; questi ultimi per le linee secondarie delle stazioni.

* * *

Sia nella descrizione del sistema autocompensato che in quella della installazione della linea aerea dal lato costruttivo, ci siamo limitati ad esporre i dati principali. Nella nota alla quale abbiamo rimandato, pubblicata sotto gli auspici di un grande elettrotecnico e scienziato spagnolo, il Padre Perez del Pulgar oltre ai maggiori dati teorici e pratici già menzionati, chi abbia interesse, può trovare i metodi adottati per una organizzazione razionale e previdente di montaggio che sembra rispondere a criteri meno empirici di quelli ordinariamente impiegati e che ha dato buona prova avendo potuto ridurre ad un minimo il personale dirigente ed essendo risultato un costo di montaggio assai limitato ad onta che si trattasse di un sistema nuovo.

La inaugurazione ufficiale della elettrificazione della rete Vascongados ebbe luogo assai dopo quella effettiva con l'intervento del compianto Presidente del Consiglio Primo De Rivera e di parecchi altri Ministri.

Ci sia concesso rendere a questo illustre e fervido patriota un ricordo fascista rammentando che, nel giungere da Bilbao a S. Sebastian col treno inaugurale con un percorso assai rapido che riassumeva simbolicamente il grande miglioramento dei servizi ottenuto con la elettrificazione, volle esprimere a chi ha l'onore di scrivere con il suo ambito plauso

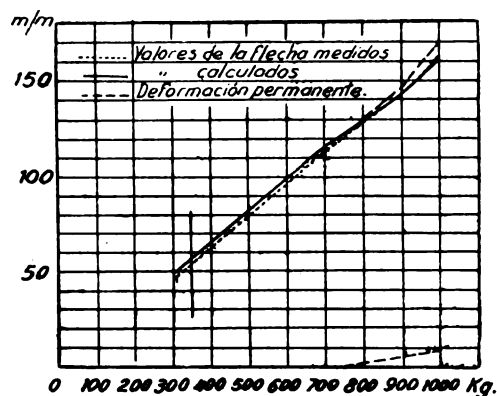


FIG. 31. - Misura della freccia del palo
Tipo A.

al concorso tecnico italiano, un entusiastico saluto al Duce e rispondendo al saluto fascista con giovanile, impetuoso saluto fascista, in presenza della cittadinanza acclamante al suo arrivo, volle gridare « Viva Italia ».

Oltre al contributo di studi e progetti l'Italia, con eccezione di rame e pali per evidenti ragioni, aveva fornito tutto il restante materiale della linea di contatto per un importo notevole con esecuzione perfetta così che l'industria nostra ha dimostrato in questo campo che, se opportunamente condotta sui mercati stranieri, può conseguirvi notevoli successi.

Il primo Bollettino trimestrale della Società A. Nazionale « Cogne ». Gennaio 1931-IX.

Questo Bollettino vuol essere la periodica illustrazione dei problemi che nel campo degli acciai speciali quotidianamente affronta e risolve quell'importantissimo organo della metallurgia italiana che è la « Cogne » e vuol essere ad un tempo il rendiconto di un piano sistematico di studi e di ricerche quale si è di recente iniziato in stretta, ardita collaborazione tra la Società ed il Laboratorio sperimentale per prove di materiali da costruzione della Regia Scuola di Ingegneria di Torino. Collaborazioni tra pratica tecnica e ricerca scientifica si sono spesso auspicate in passato, ma apparirono poi di attuazione difficile. Tanto più ardua si presentava questa, data l'ampiezza e la varietà di collocamento del ciclo produttivo che dalla magnetite di Cogne si trasforma presso le Acciaierie di Aosta nella più vasta distinzione di acciai.

Il contenuto di questo primo Bollettino dimostra intanto come sia già stato sentito il legame dell'altissimo interesse scientifico con quello tecnico e quale affiancamento possano portarsi industria e laboratorio traverso il fervore di uomini che con preciso indirizzo tecnologico, con ricerche attentissime e studi profondi si propongono di prendere in riguardo così vigorosa e rigorosa presa di posizione. L'importanza del resto dello scopo appare dalle dichiarazioni che precedono il fascicolo. Esse riflettono, in raccolta, chiara sobrietà, la precisa visione del problema e propositi di fatti densi che si vogliono raggiungere con slancio e con passione, tanto più preziosi oggi in cui sentiamo particolare il bisogno di fiducia e di ottimismo nelle energie nostre.

(vedi continuazione a pag. 87)