ANNO XXV. Torino, 1° Maggio 1899 NUM. 9.

L'INGEGNERIA CIVILE
E
LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO BIMENSILE

Si discorre in fine del Fascicolo delle opere e degli opuscoli spediti franchi alla Direzione dai loro Autori od Editori.

TRAMVIE E FERROVIE SPECIALI

LA FERROVIA FUNICOLARE DI MONTECATINI IN VAL DI NIEVOLE.

Monografia dell' Ing. FILIPPO TAJANI

(Continuazione)

III.

APPARATO MOTORE. — CONSIDERAZIONI SUL PROFILO IN RELAZIONE ALLO SFORZO MOTORE. — FRENI DEL MOTORE.

1. — L'apparato motore di una ferrovia funicolare non è, in sostanza, che un grande argano a vapore, in cui quindi distinguonsi la macchina motrice colle relative trasmissioni ed il subbio. Questo può essere fatto a forma di tamburo, con superficie liscia o scanalata, e può pure, come nei moderni impianti, esser costituito di pulegge munite di gole. In questo caso tre o più pulegge sono disposte in modo che, nel mentre si raggiunge la necessaria aderenza per la trasmissione alla fune del movimento del subbio, resta pure assicurato il regolare passaggio della fune medesima dal subbio alla via, senza che vi sia bisogno di appositi apparecchi, che nei subbi a tamburo sono necessari allo scopo indicato, potendo accadere che la fune si sovrapponga alle spire già avvolte, e quindi, nell'uscir sulla via, non prenda la posizione giusta rispetto ai rulli di guida e all'attacco colle vetture.

Una disposizione tipica pel subbio è quella che si riscontra sulle funicolari dell'Hâvre e del Bürgenstock. Essa è stata giudiziosamente imitata nella funicolare di Montecatini, e a suo posto la descriveremo.

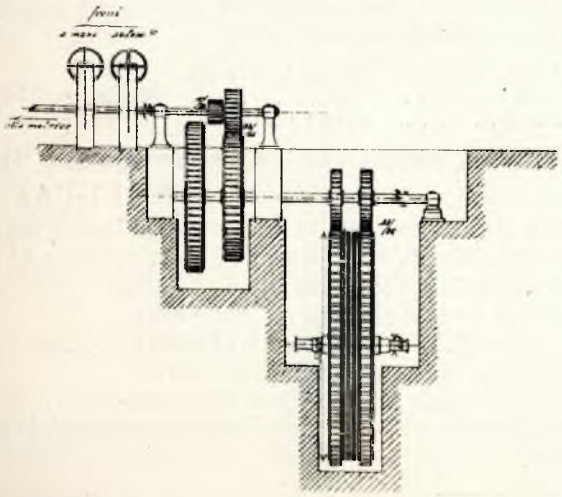

Fig. 82. — Meccanismo di trasmissione del moto alla fune di trazione.

Per procedere in ordine, diremo intanto che l'apparato motore della funicolare in discorso è costituito:

a) di due caldaie per l'alimentazione della motrice;

b) della motrice suddetta;

c) di una trasmissione a ingranaggio con doppio rapporto di velocità fra l'albero della motrice ed un albero intermedio;

d) di un secondo ingranaggio per la trasmissione del moto dal detto albero intermedio al subbio;

e) del subbio anzidetto, costituito di tre pulegge;

f) di due potenti freni a ceppi, agenti sull'albero della motrice, uno solo dei quali basta ad arrestare tutto il meccanismo.

La fig. 82 mostra la disposizione delle diverse parti, collocate nel sotterraneo della sala d'aspetto della stazione superiore e nell'attigua sala delle macchine. Più specialmente diremo che si trovano nel sotterraneo il subbio e le trasmissioni, nella sala superiore la motrice e i freni relativi, che devono naturalmente restare a portata del macchinista.

In apposito locale sono installati i generatori di vapore, del tipo inesplodibile Babcock e Wilcox, a fasci di tubi, tipo che, come tutti quelli simili, è molto adatto per impianti di tal genere, perchè presenta grande elasticità di produzione. Questo requisito è necessario per le caldaie destinate all'alimentazione delle motrici, obbligate a passare rapidamente

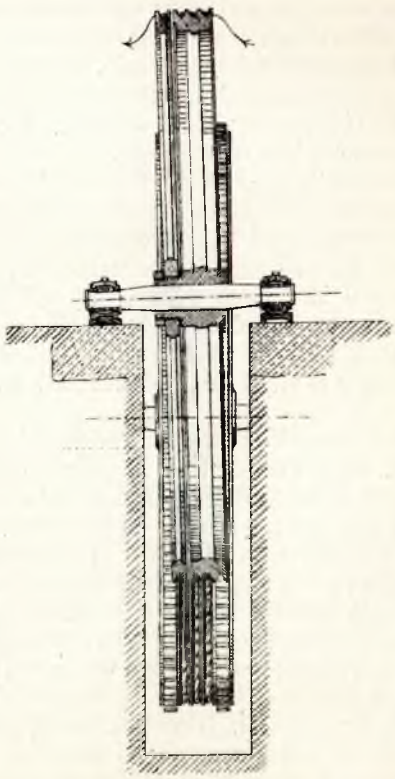

Fig. 83. — Disposizione della puleggia motrice.

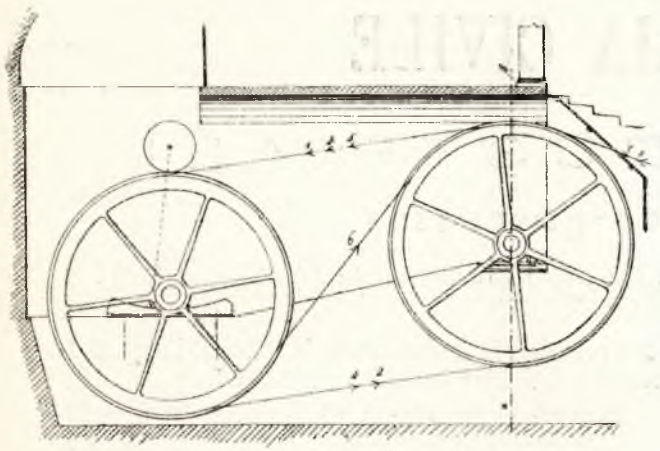

Fig. 84. — Disposizione del circulto funicolare.

da uno sforzo minimo ad uno massimo, come avviene in tutte le macchine che debbono servire alla trazione.

Non vi è apparecchio di condensazione; il vapore di scarico si utilizza per riscaldare l'acqua che serve all'alimentazione, la quale è fatta per mezzo di due pompe tipo Wortington, ad azione diretta. Ciascuna pompa può indipendentemente servire l'una o l'altra caldaia.

Ognuna di queste dispone di mq. 58 di superficie di scaldamento, ed è timbrata a 6 chilogrammi per cm^2; per l'esercizio ordinario, che richiede un consumo di vapore molto limitato, è sufficiente che la pressione si mantenga a 4 chg. per cm^2. Le ca'daie sono destinate a lavorare alternativamente, una rimanendo sempre per riserva.

Il motore è verticale, *compound*, provvisto di glifo Sthephenson per l'inversione della marcia e per la variazione dell'espansione. È di tipo molto robusto, perchè possa ben resistere alle notevoli variazioni di sforzo.

Il settore dentato, che segna le varie posizioni della leva, è bisecato da una nervatura orizzontale; le due parti sono distinte da diversa colorazione e dai numeri 1 e 2, assegnati in modo che se si dispone la leva nel settore corrispondente al numero della vettura che trovasi nella stazione superiore, questa vettura discende e l'altra sale. Il numero della vettura che trovasi nella stazione superiore è visibile dal posto del macchinista; riescono quindi difficili gli errori relativi alle manovre della leva d'inversione.

La potenza della macchina è di circa 55 cavalli-vapore; vedremo però che questa potenza occorre solo quando la funicolare lavora nella più sfavorevole condizione di carico.

Il numero dei giri dell'albero motore nel periodo di regime è di 150 al minuto primo, che, coll'ingranaggio a maggior rapporto (ordinariamente usato), corrisponde ad una velocità di 2 m. delle vetture, mentre coll'altro ingranaggio corrisponde circa alla velocità di 1 m. per minuto secondo.

Il subbio è composto di tre pulegge aventi l'uguale diametro di m. 3,20. Una di esse la potremo dire *motrice*, perchè riceve il moto dalla macchina e lo trasmette alle altre due e alla fune; le altre le diremo *accoppiate*, perchè, agli effetti dell'aderenza della fune di trazione possono paragonarsi alle ruote accoppiate delle locomotive.

La puleggia motrice ha tre gole fiancheggiate da una doppia dentatura, destinata a ingranare nel doppio rocchetto dell'albero intermedio; le altre due pulegge sono una calettata e l'altra folle su di un albero inclinato all'orizzonte e posto di faccia al primo. L'inclinazione di questo secondo albero è tale che, come chiaramente dimostra la fig. 83, le seconde pulegge risultano spostate rispetto alla prima di una gola.

La puleggia accoppiata che è calettata sull'asse ha tre gole, l'altra, folle, che è destinata a girare in senso contrario alla prima, ha una gola soltanto. La figura precedente e l'altra (fig. 84) sono poi bastevoli a far comprendere la disposizione del circuito funicolare.

Avvalendosi dei numeri dei capi, segnati nella seconda di queste due figure, si può seguire il cammino della fune, disposta in modo che due capi consecutivi stanno nello stesso piano: ciò che evidentemente contribuisce a impedire pericolosi spostamenti dell'organo di trazione sul subbio.

La forma delle gole è semicircolare svasata, in cui si adatta con piccolo gioco la fune; nessun rivestimento hanno le gole, formate direttamente nella ghisa.

I freni dell'apparato motore sono due, come si è detto, e ognuno di essi è bastevole all'arresto del meccanismo. Il tipo di freni scelto è quello a ceppi cuneiformi agenti su pulegge con scanalature a forma di V, in cui i cunei dei ceppi entrano a frizione. I ceppi sono due, uguale ciascuno quasi a mezza circonferenza, e si manovrano con apposito volantino agente su di un albero a doppia filettatura inversa.

Uno dei freni, pur restando, come l'altro, a portata del macchinista, è a manovra automatica. Se la vettura ascendente, entrando nella stazione superiore, supera il punto di fermata assegnatole, spinge apposita leva, posta sulla via a conveniente distanza dai respintori. Un sistema di altre leve collegate alla prima, che abbiamo detto essere posta sulla via, provoca la caduta di un contrappeso, e quindi la chiusura del freno, che in tal caso si verifica indipendentemente dalla volontà del macchinista addetto al motore. Al macchinista è invece affidata la manovra del freno per l'ordinario arresto del meccanismo in fine di corsa.

2. — Visto come è costituito l'impianto motore, passeremo a studiare le condizioni in cui esso lavora.

Variando il carico delle vetture in dipendenza del numero di viaggiatori, varierà con esso anche la potenza necessaria all'esercizio, ma evidentemente basterà considerare i casi-limiti, giacchè entro questi tutti gli altri sono compresi.

Risulta pertanto che il massimo sforzo sarà richiesto alla motrice quando la vettura ascendente è a completo carico ed è vuota la discendente, ed il minimo sforzo nel caso reciproco, ed inoltre che lo sforzo necessario a porre in azione il meccanismo quando, ad esempio, le vetture sono entrambe vuote od entrambe cariche, sarà compreso fra gli sforzi determinati pei casi-limiti: lo stesso dicasi per ogni altra condizione di carico.

E poichè in genere la seconda ipotesi di carico darà sforzi negativi, potremo riassumere nel modo seguente le condizioni di carichi e di sforzi dei casi-limiti:

Vettura ascendente	Vettura discendente	Sforzi
A pieno carico . . .	Vuota	Massimi positivi
Vuota	A pieno carico . . .	Massimi negativi

Lo sforzo di trazione S ha l'espressione seguente (*):

$$S = P(\operatorname{sen}\alpha + f\cos\alpha) - P'(\operatorname{sen}\alpha' - f\cos\alpha') + ph + k$$

che vale per l'istante in cui la vettura ascendente P essendo sulla pendenza α, la discendente P' è sulla pendenza α' (diremo *coniugate* le due posizioni).

In detta formola abbiamo chiamato con:

f il coefficiente di resistenza al moto sull'orizzontale;
p il peso a metro lineare della fune;
h il dislivello delle posizioni coniugate delle vetture;
k il termine che riassume le varie resistenze del meccanismo.

(*) Vedi *Studi sulle Ferrovie funicolari*, pag. 9. — Torino, 1897, Tip. e Lit. Camilla e Bertolero.

Il valore di f è espresso dalla relazione:

$$f = \frac{2\,a}{D} + \frac{P - \mu}{P}\, a_1 \frac{d}{D}$$

in cui a ed a_1 sono rispettivamente i coefficienti di attrito volvente e di attrito nei perni (fusi delle ruote nelle rispettive boccole), D, d i diametri delle ruote e dei fuselli.

Ritenuto $a = 0{,}0005$ (Hütte, I, 183); $a_1 = 0{,}01$; $\frac{P - \mu}{P}$ rapporto del peso della cassa e telaio della vettura al suo peso totale (P peso totale, μ peso ruote e sale) uguale a 0,9, risulta $f = 0{,}0032$.

Il termine k rappresenta le perdite del meccanismo sino al tamburo motore. Tali perdite, praticamente costanti, sono le seguenti:

a) attrito nei perni degli organi girevoli (rulli di sostegno della fune, pulegge costituenti il subbio);

b) rigidezza della fune metallica.

Gli attriti nei perni dei rulli riportati sulla fune sono valutabili pei tratti rettilinei colla espressione:

$$\frac{\delta}{\Delta}\, \varphi_2 (p\,L + n\,q)$$

in cui:

Δ, δ sono i diametri dei rulli e perni rispettivi;

L la lunghezza dei tratti rettilinei della via;

φ_2 l'attrito di terza specie (0,08);

q, n il peso e il numero dei rulli.

Pei tratti in curva invece si ha:

$$\varphi_2 \frac{2\,\pi\,\beta}{360}\, T,$$

in cui:

β è la somma degli angoli al centro di tutte le curve esistenti sulla via;

T la tensione media della fune.

Gli attriti nelle pulegge del subbio si valutano coll'espressione:

$$\frac{\varphi_2}{D}\, \delta_1 (Q + Q')$$

in cui:

D e δ_1 sono i diametri delle pulegge e dei perni rispettivi;

$Q + Q'$ la somma dei loro pesi (*).

Per la rigidezza della fune si preferisce la formula dell'Agudio:

$$\frac{1}{2}\, \frac{\delta_2}{D}\, T$$

in cui:

δ_2 è il diametro della fune;

D e T hanno il significato loro attribuito nelle altre formule.

Passando ai numeri, pel nostro caso risulta $k = 150$ chg. in cifra tonda.

Abbiamo visto che bastava calcolare gli sforzi per le due ipotesi-limiti di carico; ciò ora faremo, avvalendoci del ripiego della inversione dei profili già da noi in precedente scritto proposto (**). Semplifichiamo però l'espressione dello sforzo motore nel modo seguente:

$$S = P \text{ tang } \alpha - P' \text{ tang } \alpha' + p\,h + f(P + P') + k.$$

(*) Il simbolo φ_2 rappresenta come a_1 il coefficiente d'attrito di terza specie, ma ad esso si assegna, in queste espressioni, un valore maggiore di quello assegnato ad a_1, perchè ci riferiamo ordinariamente a condizioni di manutenzione e di ungimento molto inferiori a quelle delle sale delle ruote.

(**) Vedi *Studi sulle Ferrovie funicolari*, già citati.

Tabella I.

Condizioni di carico: $P = 7500$, $P' = 4500$, $f(P + P') = 38.40$.

Numero delle Sezioni	Vettura ascendente		Vettura discendente		h	$p\,h$ (*c*)	Valore di $S - k$ $\{a - b + c + (P+P')f\}$
	tang α	P tang α (*a*)	tang α'	P' tang α' (*b*)			
I	0.120	900.00	0.385	1732 50	+ 204.67 + 150 24	+ 532.14 + 390.62	— 261.96 — 403.48
II	0.120	900.00	0.366	1647.00	+ 150.24 + 133.97	+ 390.62 + 348.32	— 317.98 — 360.28
III	0.120	900.00	0.270	1215.00	+ 133.97 + 94.99	+ 348.32 + 246.97	+ 71.72 — 29.63
IV	0.120	900.00	0.214	963.00	+ 94,99 + 79.30	+ 246.97 + 206.18	+ 222.37 + 181.58
V	0.160	1200.00	0.214	963.00	+ 79.30 + 32.71	+ 206.18 + 85.05	+ 481.58 + 360.45
VI	0.160	1200.00	0.160	720.00	+ 32.71 — 32.71	+ 85.05 — 85.05	+ 603.45 + 433 35
VII	0.214	1605.00	0.160	720.00	— 32.71 — 79.30	— 85.05 — 206.18	+ 838.35 + 717.22
VIII	0.214	1605.00	0.120	540.00	— 79.30 — 94 99	— 206.18 — 246.97	+ 897.22 + 856.43
IX	0.270	2025.00	0.120	540.00	— 94.99 — 133 97	— 246.77 — 348 32	+ 1276.43 + 1175.08
X	0.366	2745.00	0.120	540.00	— 133.97 — 150.24	— 348.32 — 390.62	+ 1895.08 + 1852.78
XI	0.385	2887.50	0.120	540.00	— 150.24 — 204.67	— 390.62 — 532.14	+ 1995.28 + 1853.76

TABELLA II.

Condizioni di carico: P = 7500, P′ = 7500, $f(P + P') = 48$.

Numero delle Sezioni	Vettura ascendente		Vettura discendente		h	$p\,h$	Valore di S — k
	tang α	P tang α	tang α'	P′ tang α'			
I	0.120	900.00	0.385	2887.50	+ 204.67 + 150.24	+ 532.14 + 390.62	— 1407.36 — 1548.88
II	0.120	900.00	0.366	2745.00	+ 150.24 + 133.97	+ 390.62 + 348.32	— 1406.38 — 1448.68
III	0.120	900.00	0.270	2025.00	+ 133.97 + 94.99	+ 348.32 + 246.97	— 728.68 — 830.03
IV	0.120	900.00	0.214	1605.00	+ 94.99 + 79.30	+ 246.97 + 206.18	— 410.03 — 450.82
V	0.160	1200.00	0.214	1605.00	+ 79.30 + 32.71	+ 206.18 + 85.05	— 150.82 — 271.95
VI	0.160	1200.00	0.160	1200.00	+ 32.71 — 32.71	+ 85.05 — 85.05	+ 133.05 — 37.05
VII	0.214	1605.00	0.160	1200.00	— 32.71 — 79.30	— 85.05 — 206.18	+ 367.95 + 246.82
VIII	0.214	1605.00	0.120	900.00	— 79.30 — 94.99	— 206.18 — 246.97	+ 546.82 + 503.03
IX	0.270	2025.00	0.120	900.00	— 94.99 — 133.97	— 246.97 — 348.32	+ 925.03 + 824.68
X	0.366	2745.00	0.120	900.00	— 133.97 — 150.24	— 348.32 — 390.62	+ 1544.68 + 1502.38
XI	0.385	2887.50	0.120	900.00	— 150.24 — 204.67	— 390.62 — 532.14	+ 1644.88 + 1503.36

sostituendo nella formula esatta i seni alle tangenti e facendo i coseni uguali all'unità. Benchè trattisi di angoli non molto piccoli, l'approssimazione è sufficiente perchè l'errore di un termine compensa quello dell'altro di contrario segno, e si ha il vantaggio di poter esprimere le livellette colle pendenze effettive.

Notisi che nell'espressione di S così ridotta i primi tre termini sono variabili, il quarto è invece costante finchè non variano i carichi, cioè per tutta una corsa, ed il termine k si può praticamente considerare costante per tutte le ipotesi.

Le tre tabelle sovra riportate dànno i valori dei primi quattro termini di S per la funicolare in esame. La I si riferisce al caso in cui la vettura ascendente è a pieno carico, mentre la discendente è scarica; la III all'ipotesi inversa; la II infine contempla il caso intermedio riferibile all'ipotesi per la quale entrambe le vetture suppongonsi a pieno carico. Per intendere tali tabelle occorre riportarsi ai diagrammi della fig. 85, in cui appare la divisione in sezioni del profilo e dove sono graficamente riportati i valori di S (compresa la costante k) sulle verticali che segnano le corrispondenti posizioni coniugate delle vetture.

Il valore dello sforzo cambia bruscamente ogni volta che nel percorso dell'una o dell'altra vettura s'incontra un cambiamento di livelletta; varia poi linearmente fra l'uno e l'altro salto. I diagrammi risultano quindi costituiti da una linea spezzata, alla quale abbiamo sostituito una linea continua ottenuta congiungendo i punti medi dei tratti rettilinei, perchè le livellette sono raccordate e perchè, in effetti, lo sforzo motore, per la forza viva immagazzinata dalle masse in moto, tende ad uniformarsi.

Le curve ottenute sono le I, II, III, rispettivamente corrispondenti alle ipotesi distinte col medesimo numero. L'area compresa fra il ramo superiore delle curve e l'asse delle ascisse rappresenta il lavoro della macchina, quella invece compresa fra l'asse medesimo e il ramo inferiore (sforzi negativi) rappresenta il lavoro che dev'essere assorbito dai freni. Il lavoro positivo (quello cioè della motrice) è massimo per la prima, minimo per l'ultima ipotesi: avviene l'opposto per il lavoro dei freni. Il diagramma dell'ipotesi intermedia II mostra che per essa, tanto i valori positivi che i valori negativi dello sforzo sono minori dei massimi: la curva corrispondente a ogni altra ipotesi rimarrebbe compresa nella striscia limitata dalle curve I e III.

Sapendo che il massimo lavoro che può essere sviluppato dalla motrice è di 55 cav. vap. cioè, tenuto conto di un rendimento del 0,70, di 2887 chilogrammetri per minuto secondo, vediamo che la velocità di regime fissata a m. 2 può, nel caso della prima ipotesi essere mantenuta sino al punto segnato sulla curva medesima, ove verificandosi lo sforzo di chilogrammi 1443 si ha equivalenza fra il lavoro di trazione e la potenza della macchina. Dalla forma del diagramma notasi poi che la macchina motrice è obbligata ad un lavoro variabilissimo il quale indubbiamente ne fa discendere ad un limite troppo basso il coefficiente di rendimento.

3. — Lo sforzo motore per una funicolare è, come abbiamo visto, variabile da punto a punto col variare del profilo, ed è variabile pure col mutare delle condizioni di carico. A questa seconda variabilità, inerente a tutti i sistemi di trasporti pel pubblico, non si può ovviare; si può invece limitare la prima adottando un profilo in cui le livellette varino con una certa legge.

Il profilo della funicolare di Montecatini, come quello di quasi tutte (*) le funicolari addette al trasporto dei viaggiatori, ha forma poligonale rispondente a nessun'altra esigenza che a quella del terreno.

(*) Di linee a profilo parabolico conosciamo soltanto la Galata-Pera che congiunge questi due villaggi di Costantinopoli. Non sappiamo però il suo profilo a qual criterio risponda.

Tabella III.

Condizioni di carico: P = 4500, P′ = 7500, $f(P + P') = 38.40$.

Numero delle Sezioni	Vettura ascendente		Vettura discendente		h	$p\,h$	Valore di S — k
	tang α	P tang α	tang α'	P′ tang α'			
I	0.120	540.00	0.385	2887.50	+ 204.67 + 150.24	+ 532.14 + 390.62	— 1776.96 — 1918.48
II	0.120	540.00	0.366	2745.00	+ 150.24 + 133.97	+ 390.62 + 348.42	— 1775.98 — 1818.18
III	0.120	540.00	0.270	2025.00	+ 133.97 + 94.99	+ 348.42 + 246.97	— 1098.70 — 1198.42
IV	0.120	540.00	0.214	1605.00	+ 94.99 + 79.30	+ 246.97 + 206.18	— 778.70 — 820.42
V	0.160	720.00	0.214	1605.00	+ 79.30 + 32.71	+ 206.18 + 85.05	— 640.42 — 761.55
VI	0.160	720.00	0 160	1200.00	+ 32.71 — 32.71	+ 85.05 — 85.05	— 356.55 — 526.65
VII	0.214	963.00	0.160	1200 00	— 32.71 — 79.30	— 85.05 — 206.18	— 283.65 — 404.78
VIII	0.214	963.00	0.120	900.00	— 79.30 — 94.99	— 206.18 — 246.97	— 104.78 — 146.57
IX	0.270	1215.00	0.120	900.00	— 94.99 — 133.97	— 246.97 — 348.32	+ 105.43 + 5.08
X	0.366	1647.00	0 120	900.00	— 133.97 — 150.24	— 348.32 — 390.62	+ 437.08 + 394.78
XI	0.385	1732.50	0.120	900.00	— 150.24 — 204.67	— 390.62 — 532.14	+ 480.28 + 342.76

Il profilo di equilibrio o a sforzo costante poichè è funzione delle condizioni di carico, è stato finora adottato solo sui piani inclinati addetti al trasporto dei materiali, pei quali le condizioni di carico non variano. Mostreremo però che anche per le funicolari addette al trasporto viaggiatori e che potremo chiamare a carico variabile, è conveniente adottare un profilo di equilibrio, giacchè esso rende sempre più economico l'esercizio e mette la motrice in condizioni di lavoro più regolari e più rispondenti quindi al buon andamento ed alla maggiore sicurezza dell'esercizio stesso.

Per esporre tali considerazioni ci serviremo dei dati della Funicolare in esame avvalendoci pure del confronto fra le condizioni effettive dell'impianto e quelle che andremo esponendo. La utilità di tale esame e la studiata brevità e semplicità cui ci atterremo, ci fanno sperare che il lettore non considererà la questione fuor di posto in questa memoria descrittiva.

4. — Una prima idea che sorge quando si pensa alla regolarità dell'andamento dello sforzo è quella di assegnare al profilo una livelletta unica. In tal caso si avrebbe uno sforzo variabile linearmente, e pel nostro esempio le curve già ottenute si trasformerebbero nelle tre rette I_r, II_r, III_r. Come vedremo però, pure variando linearmente, lo sforzo passerebbe per valori estremi molto distanti e un profilo a pendenza unica raramente adatterebbesi alla campagna, giacchè le falde delle colline sono generalmente fatte in modo che le pendenze decrescono dall'alto in basso.

Sappiamo poi che per ottenere uno sforzo costante bisogna conformare il profilo ad arco di cicloide o di parabola (*) descritto tenendo conto del carico, peso della fune, dislivello totale, ecc.

(*) La curva che costituisce il profilo così detto di equilibrio per alcuni autori è un arco di parabola, per altri un arco di cicloide, e per altri infine un arco di *trattrice,* l'evoluta della catenaria. Ma, al lettore, per poco sia pratico di queste ricerche, riuscirà facile comprendere che basta fare una più che un'altra approssimazione, attenersi ad un metodo più o meno rigoroso per arrivare a risultati che sono effettivamente differenti, ma la cui differenza è tale che sul terreno e ad ogni altro effetto pratico, non è apprezzabile.

(*) Cfr. *Studi sulle Ferrovie funicolari*, cap. V, nota alla pag. 57.

Ma l'equazione di questa parabola essendo:

$$y = \frac{P + P' - p\,L}{P + P'} \cdot \frac{H}{L}\, x + \frac{p}{P + P'} \cdot \frac{H}{L}\, x^2 \qquad (*)$$

si vede che il profilo di equilibrio varia, quanto ai carichi, non col variare di P e P′ separatamente, ma col variare della loro somma P + P′. Ricordando poi che le tangenti della parabola fanno con l'asse tangente al vertice angoli crescenti proporzionalmente all'ascissa, si rileva pure che, sia qualunque il profilo parabolico, lo sforzo di trazione varia linearmente: il diagramma dello sforzo è cioè sempre rettilineo, come pel profilo a pendenza costante, col vantaggio che mentre la differenza fra lo sforzo all'origine e quello in fin di corsa pel profilo a livelletta unica è uguale a due volte il peso a m. l. della fune pel dislivello dei punti estremi, cioè a $2\,p\,H$, pel profilo parabolico è sempre minore, perchè rappresentata dal binomio:

$$2\,p\,H - (P + P')\,(\text{tang}\,\alpha' - \text{tang}\,\alpha)$$

in cui il secondo termine è sempre una quantità positiva. Da questa relazione risulta pure che a parità del valore (P + P′) la differenza degli sforzi estremi diminuisce col crescere della curvatura cioè del termine: tang α' — tang α.

Supponiamo ora di aver costruito il profilo parabolico prendendo a base dei calcoli uno speciale valore Q del termine P + P′ e vediamo come varia il diagramma dello sforzo al variare dei carichi.

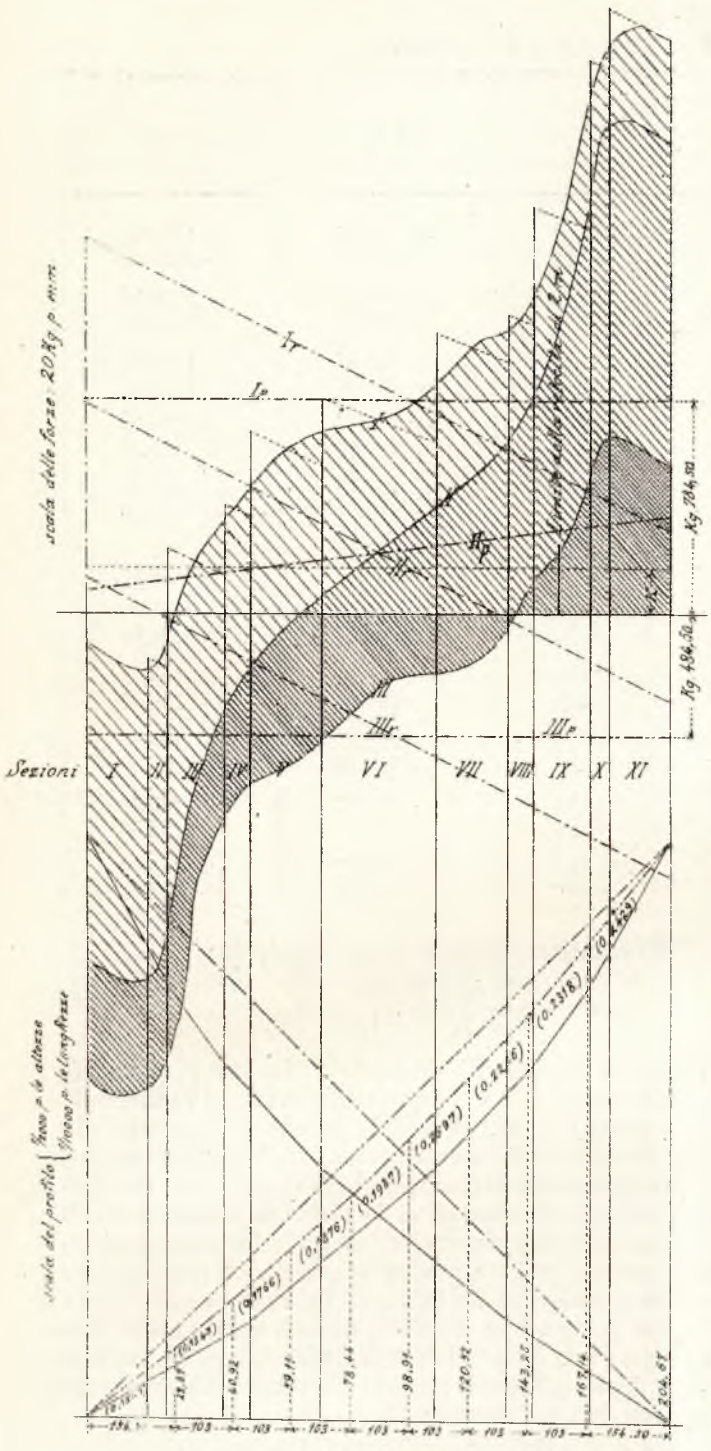

Fig. 85. — Diagrammi degli sforzi di trazione e del lavoro.

Esso sarà sempre rettilineo e la sua inclinazione rispetto all'asse delle ascisse sarà misurata, chiamando con γ l'angolo che farà con la direzione da destra a sinistra dell'asse delle ascisse medesimo, da

$$\text{tang}\,\gamma = \frac{2\,p\,h - (P + P')\,(\text{tg}\,\alpha' - \text{tg}\,\alpha)}{L}$$

Ma sappiamo (*) che

$$\text{tg}\,\alpha' - \text{tg}\,\alpha = \frac{2\,p\,h}{Q},$$

risulta quindi:

$$\text{tang}\,\gamma = \frac{\left(1 - \frac{P + P'}{Q}\right) 2\,p\,h}{L}$$

la quale ci dice che quando $P + P'$ è maggiore di Q la retta diagramma è inclinata verso sinistra, cioè lo sforzo è minore all'inizio che in fin di corsa. mentre se $P + P'$ è minore di Q, avviene il contrario, cioè la retta diagramma è inclinata verso destra, ed è orizzontale, come si sapeva, quando $P + P' = Q$.

Se quindi per base del calcolo del profilo si assume il valor Q che corrisponde al caso più frequente, cioè all'ordinario traffico dei viaggiatori, si assicura alla motrice un lavoro costante nella maggior parte dei casi e nei rimanenti lo sforzo varierà linearmente tra limiti mai molto lontani se il valore di Q è medio dei valori estremi di $P + P'$ (**).

Per esempio, nella Funicolare di Montecatini il valore massimo della somma $P + P'$ è dato dal peso delle due vetture (9000 chg.) aumentato dal peso degli 80 viaggiatori che vi possono prender posto e dei 4 agenti viaggianti (6000 chg.), in tutto chg. 15,000; il valor minimo è 9000 chilogrammi. Ammettendo che dei posti disponibili ordinariamente se ne utilizzi il 50 0[0, come per lo più avviene di fatto, il profilo più conveniente risulta quello costruito per un valore di $P + P' = 12{,}000$ chg., corrispondente ai casi in cui la funicolare trasporta 40 viaggiatori, comunque distribuiti fra la carrozza ascendente e la discendente.

Abbiamo detto comunque distribuiti nelle vetture, ma è bene notare che variando i valori di P e P', separatamente considerati, se pur ne resta costante la somma, la retta diagramma manterrà sempre la stessa inclinazione, ma varierà di posto, perchè il lavoro, l'area cioè compresa fra il diagramma e l'asse delle ascisse, è sempre misurato dall'espressione, astrazione fatta dalle perdite:

$$(P - P')\,H.$$

La inclinazione della retta diagramma abbiamo visto come si calcola: la sua posizione è pure presto determinata notando che lo sforzo medio S_m è dato da

$$S_m = \frac{(P - P')\,H}{L} + (P + P')\,f.$$

5. — È molto facile tracciare il profilo parabolico per una funicolare di cui son dati gli elementi. Fissato per valor probabile di $P + P'$ un dato valore Q, si tenga presente che:

$$\text{tang}\,\alpha' = \frac{H}{L} + \frac{p\,H}{Q}$$

$$\text{tang}\,\alpha = \frac{H}{L} - \frac{p\,H}{Q}$$

e che quindi la loro differenza è

$$\frac{2\,p\,H}{Q}.$$

Si divida tal differenza in un numero n di parti, uguali ciascuna a δ, e si divida la proiezione della linea per $n+1$, assegnando poi alla prima livelletta la pendenza tg α e alle altre successive le pendenze:

$$\text{tg}\,\alpha + \delta$$
$$\text{tg}\,\alpha + 2\,\delta$$
$$\ldots\ldots$$
$$\text{tg}\,\alpha + n\,\delta = \text{tg}\,\alpha'$$

(*) Opusc. citato, pag. 59.

(**) Usasi fare il rapporto fra il numero effettivo dei viaggiatori e quello dei posti disponibili, riferendosi al traffico giornaliero oppure a quello annuale. Per le linee a forte traffico questo rapporto varia fra il 70 e 80 0[0, in quelle a traffico debole scende al 50 0[0.

e si avrà un profilo poligonale circoscritto all'arco parabolico corrispondente al fissato valor Q di P + P'.

Il numero n dovrà essere pari perchè il numero delle livellette riesca dispari e quindi non avvenga un cambiamento di livelletta proprio nello spazio destinato allo scambio centrale e le varie livellette debbono, come si è detto, essere uguali. Se per ragioni costruttorie toccasse di dover assegnare lunghezza maggiore della fissata a qualche livelletta, ciò si dovrà fare aumentando egualmente la livelletta simmetrica rispetto all'incrocio, perchè la poligonale si allontani il meno possibile dall'arco parabolico teorico.

Costruito il profilo in base a determinati valori di H e di L, esso non sarà generalmente adattabile al terreno: sarà merito del progettista il saper conciliare la forma del tracciato in profilo colla sua disposizione planimetrica per modo che ne risulti una conveniente distribuzione delle terre e sia soddisfatto ogni altro requisito che si suole esigere nei tracciati ordinari.

Per lo più il terreno presenta una concavità maggiore di quella che risulta pel profilo e in tal caso si può aumentare la pendenza dell'ultima livelletta, di egual quantità diminuendo la pendenza della prima e spostare il resto del profilo parallelamente a sè stesso, o se lo spostamento deve essere notevole, il raccordo fra il profilo spostato si può fare con due archi di parabola ad asse verticale, tangenti a detto profilo e passanti pei punti estremi della linea. Così facendo le condizioni del profilo riguardo allo sforzo rimangono le stesse, eccezion fatta pel primo ed ultimo tratto; nei quali gli sforzi varieranno secondo una retta inclinata e mentre diminuirà lo sforzo iniziale, crescerà di egual quantità lo sforzo finale, con grande vantaggio per la condotta delle macchine, giacchè così saranno rese più facili la messa in moto e la fermata del meccanismo in fin di corsa.

Sulla fig. 85 abbiamo tracciato il profilo di equilibrio per la funicolare di Montecatini assumendo P + P' = 12,000 chilogrammi. Le livellette sono nove, la prima e l'ultima di m. 154,50, le altre di 103 m. Le pendenze vanno dal 15,45 al 24,29 0[0.

Il profilo così descritto differisce notevolmente da quello eseguito tenendo presenti le condizioni del terreno, ma è facile comprendere che opportunamente spostando sulla falda della collina la direzione del tracciato o dandogli andamento curvilineo, e contemporaneamente adottando il ripiego che si è innanzi accennato, si sarebbe potuta ottenere una disposizione conveniente anche rispetto alla campagna senza rinunziare ai già riconosciuti vantaggi di un profilo di compensazione.

I diagrammi corrispondenti al detto profilo sono le rette I_p e III_p per le ipotesi estreme, per le quali il valore di P + P' eguaglia quello preso a base del calcolo del profilo medesimo.

Per la ipotesi seconda (massimo valore di P + P') si ha la retta II_p che raggiunge la massima inclinazione negativa (verso sinistra). Per la ipotesi delle due vetture entrambe vuote si avrebbe una retta simmetricamente disposta rispetto alla II_p, con inclinazione cioè eguale e di opposto segno.

I diagrammi per le ipotesi di carico intermedie saranno compresi nella striscia limitata dalle rette I_p e III_p e la loro inclinazione in un senso o nell'altro non può superare quella della III_p.

La motrice lavorerebbe a carico costante nei casi più frequenti e le più sfavorevoli condizioni di lavoro corrisponderebbero ai casi estremi (vetture completamente vuote o completamente cariche) che sono i più difficili a verificarsi nell'esercizio corrente.

Il lettore avrà già compreso però che il diagramma sarebbe effettivamente la retta tracciata se il profilo fosse descritto secondo la parabola teorica: il profilo essendo invece la poligonale circoscritta alla parabola, il diagramma effettivo sarà una spezzata che intersecherà la retta teorica tutte le volte che lo sforzo corrisponderà alle verticali passanti pei punti di contatto tra la poligonale e la parabola. Le oscillazioni dello sforzo saranno però trascurabili, anzi spariranno per gli effetti dei raccordi e della forza viva.

Il valore dello sforzo costante calcolato al punto medio colla espressione:

$$(P - P') \operatorname{tg} \xi + (P + P') f + k$$

in cui ξ è la pendenza della livelletta media, uguale alla pendenza della congiungente i punti estremi, risulta di chilogrammi 784,50, per modo che alla velocità di regime di m. 2 e col rendimento del 0.70 occorrerebbe la potenza di:

$$\text{cav. vap.} \quad \frac{784{,}50 \times 2}{0{,}70 \times 75} = 30 \text{ circa}$$

notevolmente inferiore a quella attualmente impiegata.

6. — I freni della motrice sono, come già si è detto, a ceppi di legno che fanno presa su ruote a scanalature di sezione cuneiforme, calettate sull'asse motore. Ognuno di essi è destinato ad assorbire il lavoro della motrice. Il loro calcolo sia di verifica che *a priori* riesce molto facile quando si conoscono dai diagrammi gli sforzi che bisogna vincere. Invero i freni possono essere chiamati a due funzioni, quella di regolare il moto del meccanismo tutte le volte che le condizioni di carico son tali che gli sforzi motori assumono valor negativo, e quella di arrestare rapidamente il movimento del meccanismo stesso, sia esso, in quel momento, automotore, o vada per azione della macchina Questo secondo caso teoricamente rientra nel primo, ma in pratica presenta maggiori difficoltà pel fatto che occorre chiudere il regolatore del vapore prima o contemporaneamente al freno.

I calcoli per verificare la sufficienza dei freni, basta farli ponendo a confronto la forza massima che può essere immagazzinata in tutto il meccanismo ed il lavoro di frenamento che il freno può produrre in un percorso molto breve.

Che se si trattasse di funicolari di traffico intenso e condotte a forte velocità, sarebbe necessario agli ordinari freni a mano sostituire freni meccanici di funzionamento più rapido. Così nelle funicolari di Chiaia e di Montesanto, da Napoli al Vomero, che vanno a velocità media di m. 3,50 per minuto secondo e dove si trasportano da 10 a 12 tonnellate di carico, è stato applicato un freno ad aria compressa del tipo Westinghouse. (*Continua*).

NOTIZIE

La piattaforma elettrica a due velocità per l'Esposizione del 1900 a Parigi. — Per trasportare la folla dei visitatori da un luogo all'altro nel vastissimo recinto dell'Esposizione compreso fra il Campo di Marte e la Spianata degli Invalidi, è stato adottato un sistema di piattaforma stradale scorrevole, o meglio, di due piattaforme scorrevoli a differenti velocità, secondo il sistema Blot, Guyenet e De Mocomble; il quale sistema differisce e nel principio della propulsione, e nelle disposizioni meccaniche ed elettriche, dalle piattaforme girevoli di cui si ebbe esempio nelle Esposizioni di Chicago e di Berlino.

Il signor Armengaud, il giovane, in una sua interessante comunicazione alla « Société des Ingénieurs Civils », riassunse nella seduta del 24 febbraio, alla quale sono anche intervenute numerose signore, la storia dei tentativi e delle applicazioni di questo sistema di locomozione, del quale la piattaforma stradale mobile dell'Esposizione di Parigi costituirà il tipo più perfezionato.

*

Il Relatore prende le mosse dal detto del celebre Pascal, geometra e filosofo, al quale è attribuita l'invenzione della carriuola a mano: « Les rivières sont des chemins qui marchent », ed osserva ancora che un treno ferroviario nel quale le vetture abbiano tutte un corridoio di comunicazione tra loro, rappresenta agevolmente l'idea di una strada che cammina su di un'altra strada.

Ove non si trattasse del trasporto di persone, ma di sole merci, non mancano esempi di anteriorità nell'applicazione del principio di una via in movimento continuo, come le catene a cassette, le norie e simili. Un'analogia più stretta ci è offerta dalle funi aeree impiegate al trasporto dei carboni nelle miniere, e sarebbe di data molto antica, poichè se ne servivano i Chinesi e gli Indiani nel trasportare oggetti da una riva all'altra di un fiume.

Ma per trovare nella pratica un'applicazione diretta del principio della piattaforma stradale corrente al trasporto delle persone. conviene cercarla nei piani inclinati mobili, come l'ascensore a tavolato inclinato e continuo dell'ing. Reno, applicato nel 1892 all'estremità del ponte di Brooklyn a New-York, e la scala mobile dei Magazzini del Louvre, del signor Hallé, ingegnere di quello stabilimento.

La necessità di avere un tavolato flessibile o fatto di parti snodate limitò naturalmente il numero di tali applicazioni ad alberghi, stazioni ferroviarie, musei ed esposizioni, non potendosi raggiungere grandi distanze.

*

Ma sulla via dei tentativi, che ebbero di mira il medesimo scopo di quello della piattoforma mobile della prossima Esposizione, e quindi di piattaforme rotabili, il signor Relatore menziona il signor Dalifol, che nel 1880 prendeva un brevetto per un sistema di impalcatura scorrevole parallelamente ad altra fissa, e che mossa da macchina fissa, era destinata a percorrere una via determinata, preferibilmente un circuito chiuso.

La priorità della trazione con rulli o rotelle ad asse fisso sembra appartenere all'americano Bliven, il cui brevetto data dal 1° settembre 1885 per un sistema di *carossello* di piattaforma a corona circolare, fatta con elementi articolati e posata per mezzo di rotaie a fungo capovolte sulle ruote di una serie di carrelli; queste ruote girano folli sul loro asse, mentre gli assi stessi ricevono un moto di propulsione per attrito di rotelle sottostanti. Riesce facile arguire che la piattaforma anulare cammina con velocità doppia di quella degli assi dei carrelli. Ed è questo principio di traino con velocità differenziale che venne poi applicato nella piattaforma di Chicago.

Nel 1886 il signor Blot di Parigi, non conoscendo probabilmente neppure il brevetto Bliven, immaginava una disposizione simile, nella quale gli assi dei carrelli erano fatti girare da motorini elettrici, e ne faceva proposta alla Commissione per l'Esposizione di Parigi del 1889. Analoga proposta faceva pure nel 1887 il signor Hénard con una piattaforma portata direttamente su carrelli piatti, come nel sistema Dalifol, e mossi pure dall'elettricità. Ma sì nell'uno che nell'altro progetto, la piattaforma doveva fermarsi per 15 secondi ad ogni minuto per permettere il passaggio dal marciapiede fisso alla piattaforma corrente alle persone attempate o timide. Nè pare che tale movimento intermittente ed a scosse avrebbe accontentato il pubblico.

*

Occorreva invece trovare un mezzo di far passare le persone dall'impalcatura fissa alla piattaforma mobile, senza interruzione di movimento. E a tale effetto Wilhelm ed Heinrich Rettig nel 1888 brevettarono un loro sistema di trasporto dei viaggiatori nelle grandi città, detto: il treno a gradinata. Si capisce che moltiplicando il numero delle piattaforme disposte a gradini, cioè l'una un tantino più elevata della contigua, e con velocità sempre maggiore, si possa giungere progressivamente a raggiungere per l'ultima una velocità considerevole, attalchè i signori Rettig si proponevano perfino di far salire i viaggiatori in un treno diretto senza fermarlo.

Ma tutti questi sistemi erano rimasti allo stato di progetti, e solo nel 1893 all'Esposizione di Chicago si potè vedere la prima applicazione di una piattaforma stradale in moto al trasporto delle persone, per opera di due ingegneri americani, Schmidt e Silsbée, e successivamente nel 1896 all'Esposizione di Berlino.

Ma quivi le ruote motrici erano trasportate coi loro assi ed i motori elettrici insieme colla piattaforma; donde l'inconveniente di un peso morto inutile, e quello delle interruzioni nel servizio per la visita e la riparazione degli organi di propulsione. Tuttavia la piattaforma di Chicago funzionò con soddisfazione del pubblico, ed i signori Faure e Casalonga ne avevano proposto nel 1894 l'applicazione a Parigi sotto il nome di « Metropolitana elettrica parigina ».

*

Nel 1894 il signor Blot, in vista dell'Esposizione del 1900, rimaneggiò il suo progetto del 1886, che fu preso in esame da una Commissione sotto la presidenza dell'Armengaud, e di cui facevano parte Guyenet e De Mocomble. Da bel principio si constatò che il sistema di propulsione per mezzo di due rotaie concentriche del signor Blot avrebbe presentato difficoltà pratiche insormontabili. Onde il Guyenet suggerì di esercitare la propulsione per mezzo di una trave o rotaia a fungo capovolta, disposta sull'asse centrale della piattaforma e trascinata da rulli propulsori sottostanti, mentre la piattaforma stessa avrebbe continuato ad essere portata ed a scorrere per mezzo delle ruote dei carrelli sulle rotaie concentriche del binario. L'originalità del sistema attuale consiste adunque nell'avere gli organi della propulsione ben distinti da quelli solo portanti della piattaforma rotabile.

Inoltre il De Mocomble suggerì una soluzione pratica ed elegante per la sospensione elastica dei rulli propulsori della piattaforma, in virtù della quale viene a poter oscillare intorno ad un asse fisso tutta l'intelaiatura che porta il motorino elettrico, il rullo di propulsione della piattaforma e le ruote dentate di trasmissione.

*

Le due impalcature mobili della piattaforma sono messe in moto dallo stesso meccanismo; quella a grande velocità dal rullo che è direttamente sull'albero dell'elettromotore, e l'altra a piccola velocità, metà della prima, per mezzo di un rullo di diametro pure metà montato sul prolungamento dell'albero del primo rullo per mezzo di giunti cardanici onde prestarsi a possibili variazioni di livello. Anche il piccolo rullo riposa su di una sospensione elastica a molla.

Il rapporto di 1 a 2 per le velocità delle due piattaforme è quello che la pratica ha riconosciuto più conveniente alla comodità di passaggio da una piattaforma all'altra. Certamente se si considera la quantità di forza viva che le persone devono acquistare nel passare dal marciapiede fisso alla prima piattaforma corrente, e poi da questa alla seconda, un semplice calcolo mostrerebbe che nel secondo passaggio la forza viva dev'essere quadrupla che nel primo; ma vuolsi pure considerare che il viaggiatore nel passare sulla prima piattaforma ha già vinto la prima apprensione e si slancia sulla seconda con più coraggio.

Era nelle prime intenzioni del Commissario generale dell'Esposizione, signor Picard, che l'interno del recinto fra la spianata degl'Invalidi ed il Campo di Marte fosse servito soltanto da una ferrovia elettrica. Epperò conveniva procedere ad una combinazione, dalla quale sorse la « Compagnie des Transports électriques de l'Exposition »; e questa ebbe la concessione definitiva per la ferrovia, e subordinata per quanto alla piattaforma ai risultati di una piattaforma d'esperimento.

E questa piattaforma, impiantata e funzionante a Saint-Ouen, visitarono nello scorso febbraio i membri della Società degl'Ingegneri civili di Francia. La pista ovale ha lo sviluppo di 400 metri, con curve di 50 metri e pendenze di 3 mm. riproducenti le difficoltà locali del tracciato di quella definitiva.

Nelle esperienze la forza motrice occorrente di 70 a 80 cavalli-vapore fu trasmessa da 600 metri di distanza per mezzo di corrente trifase, ma si ritornerà all'impiego di corrente continua per facilitare la fermata delle piattaforme, e per poterne facilmente diminuire od aumentare la velocità secondo i bisogni del servizio ed il maggiore o minor gusto del pubblico per codesto nuovo mezzo di locomozione.

La velocità delle due piattaforme durante l'esperimento era di 4 e di 8 chilometri rispettivamente. I due binari portanti, su ciascuno dei quali scorre una piattaforma, sono fissati ad un'incastellatura che porta così la piattaforma ad un'altezza di circa m. 2,50 sul terreno. Ed è nei cassoni metallici costituiti da tale incastellatura che i 27 rulli o tamburi di propulsione coi loro elettromotori trovano posto in modo da renderne facile la sorveglianza e la manutenzione.

*

La piattaforma stradale elettrica dell'Esposizione di Parigi avrà la figura di un grande quadrilatero ad angoli arrotondati, che per un lato segue il Campo di Marte, poi si volta ad angolo retto e percorre l'Avenue de la Motte de Piqué, ripiegasi ad angolo ottuso per seguire col terzo lato il fianco della spianata degl'Invalidi, ossia la Rue Fabert, e infine ritornare al Campo di Marte seguendo la sponda sinistra della Senna. Si ha così uno sviluppo totale di 3400 metri, il che richiederà 150 elettromotori circa. La piattaforma scorrevole si troverà sospesa a 7 metri di altezza dal suolo ed i passeggeri vi potranno accedere in una decina almeno di stazioni distribuite lungo il percorso, per mezzo di scalinate generalmente fisse, e di due palchi mobili. Ma la piattaforma fissa seguendo tutto il perimetro esterno della piattaforma in moto, i passeggeri potranno fermarsi a piacimento a contemplare il panorama e le curiosità che potranno offrire al loro sguardo le rive della Senna, il Campo di Marte o la spianata degl'Invalidi.

La piattaforma a grande velocità avrà la larghezza di 2 metri e sarà provveduta a regolari intervalli di sedie e di panche. La piccola piattaforma non avrà che la larghezza di 80 a 90 cent., dovendo soltanto servire a passare dal marciapiede fisso alla piattaforma veloce.

Colla velocità di 8 chilometri, cioè di m. 2,2 per secondo e collo sviluppo di 3400 m. si potrà fare un giro in 25 minuti e mezzo; e supponendo 4 persone per metro corrente, il che non è molto sulla larghezza di 2 metri,, potranno fare il giro completo 32 mila persone all'ora. Ma in generale molti non ne percorreranno che la metà o i due terzi allo scopo di portarsi da un punto all'altro dell'Esposizione, per cui si può dire che la piattaforma potrà servire a 50 mila persone all'ora, ed anche 60 mila, se a vece di 4 se ne trovassero disposte 5 per ogni metro.

Così sì sarà sempre sicuri di trovar posto, senza fare la *queue* od essere alla discrezione di un cocchiere o conduttore qualsiasi; e si potrà camminare nel senso del moto od a ritroso per accrescere ancora o diminuire la velocità assoluta. *C'est la liberté dans la locomotion!*

(*Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils*).

Giovanni Sacheri, *Direttore*. Tip. e Lit. Camilla e Bertolero di Natale Bertolero, Editore. Paolo Mariano, *Gerente*.