

G 70

SULLE PENDENZE
IN UN TRACCIATO DI FERROVIA



Dissertazione e **T**esi

PRESENTATE

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DELLA

R. SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI IN TORINO

DA

EDOARDO TESSITORE

da VERCELLI

PER ESSERE DICHIARATO

Ingegnere laureato

—
1869
—

TORINO.

Tipografia Fodratti, Via Ospedale, N. 21.

AI MIEI DILETTI GENITORI

**QUESTO PRIMO COMPENSO
A TANTE CURE E SACRIFIZI
CONSACRO
IN SEGNO DI AFFETTO E GRATITUDINE**

A VOI ENRICO ED ERNESTO

**FRATELLI MIEI CARISSIMI
MEMORE DEI VOSTRI OTTIMI CONSIGLI
RICONOSCENTE OFFRO**

AI MIO DILETTO GENITORIO

QUESTO LIBRO COMPARO

A TANTE CURE E SACRIFICI

CONSERVATO

IN SEGNO DI AFFETTO E GRATITUDINE

A VOI ENRICO ED ENRISTO

FRATELLI MIEI CARISSIMI

MEMORE DEI VOSTRI OTTIMI CONSIGLI

RICORDANTE OGNORA

SULLE PENDENZE

in un tracciato di Ferrovia

Parmi les grandes questions industrielles
qui occupent aujourd' hui le public
aucune sans contredit n'est plus im-
portante que celle des chemins de fer.

PERDONNET.

Due località separate da una catena di montagne si devono congiungere per mezzo di una linea ferroviaria; svariatissimi sono i tracciati che si presentano, e dall'adozione più dell'uno che dell'altro può dipendere l'avvenire della strada ferrata costrutta, e del movimento commerciale del paese attraversato.

Nella scelta fra i diversi profili eseguibili, in cui deve manifestare tutta la sua abilità, l'ingegnere incaricato dello studio del progetto non ha che tre elementi che possano servirgli di guida: la cifra indicante il traffico; la spesa di costruzione e la spesa d'esercizio; elementi di tanto difficile apprezzazione che non è a stupirsi se i risultati che effettivamente si trovano dopo l'apertura della linea non corrispondano che imperfettamente ai calcoli preventivi. Per poter determinare con sufficiente esattezza l'influenza del profilo sui due termini, spesa di costruzione e

spesa d'esercizio, appare manifesta la necessità dello studio analitico e numerico delle resistenze che si oppongono al movimento di un convoglio su di una strada ferrata; ed io mi propongo appunto una rapida rivista di tutti gli elementi che concorrono a determinare la resistenza alla trazione, e, giunto all'espressione generale della medesima, particolarmente soffermarmi sul termine *pendenza* per cercare di riconoscere quale e quanta ne sia l'importanza in un tracciato ferroviario. Per questa seconda parte sopra tutto farebbe mestieri sapersi render conto d'ogni minuta particolarità di un servizio ferroviario, ed io ben so di aver impari le forze, ma mi conforta il pensiero che a giovani è lecito il tentare, facendo tesoro degli insegnamenti dell'esperienza altrui, e quand'anche il mio non riesca che un informe abbozzo, mi sorregge speranza di trovar compatimento e venia.

I.

Le resistenze che si oppongono al movimento sopra di una strada ferrata sono:

1° L'attrito di terza specie tra le sale e i cuscinetti, al moto di traslazione del vagone andando compagno un moto di rotazione per cui ciascun elemento superficiale della sala trovasi successivamente ed in modo continuo in contatto con un medesimo elemento di cuscinetto;

2° L'attrito di seconda specie fra le ruote e le rotaie;

3° La resistenza dell'aria.

Queste nel caso di un tracciato rettilineo ed orizzontale, chè quando si è in curva si deve porre a calcolo un consumo di lavoro dovuto parte al modo di costruzione del veicolo e parte

alla forza centrifuga; e se poi oltre ad essere in curva il tracciato è anche in pendenza, allora l'azione della gravità permette di diminuire lo sforzo di trazione servendo essa da naturale motore oppure è essa stessa un ostacolo al movimento secondo che questo avviene in discesa od in ascesa.

Oltre alle resistenze enumerate ve ne sono altre ma accidentali, come ad esempio l'azione del vento e le ineguaglianze della via, ma queste non si possono sottoporre a calcolo.

Si tratta di determinare l'equazione dei lavori.

Secondo i principii di meccanica detto f il coefficiente d'attrito, P la pressione esercitata dai cuscinetti sulle sale od in altri termini il peso del vagone e del suo carico diminuito del peso delle ruote e delle sale, l'attrito è espresso da fP , ed R ed r essendo rispettivamente i raggi della ruota e della sala, per ogni giro di ruota il vagone percorre sulla guida $2\pi R$, la sala sul cuscinetto $2\pi r$, ossia mentre il vagone si avvanza di uno spazio eguale all'unità, ogni punto d'applicazione della forza d'attrito percorre

$$\frac{2\pi r}{2\pi R} = \frac{r}{R}$$

ed il lavoro da essa prodotto è

$$fP \frac{r}{R}.$$

In quanto all'attrito che si sviluppa fra ruota e rotaia detto f' il coefficiente, e p il peso delle ruote, il lavoro speso per esso è $f'(P+p)$ per uno spazio eguale all'unità di distanza.

La resistenza che oppone al movimento l'aria atmosferica si può rappresentare dietro le esperienze di *de Pambour* con $\alpha\beta SV^2$, essendo α un coefficiente costante, e β un coefficiente variabile con la forma del veicolo, V la sua velocità di traslazione, S

la proiezione della parte anteriore del vagone su di un piano normale al movimento.

L'equazione del lavoro totale resistente per ogni unità di distanza è dunque :

$$T = \frac{r}{R} fP + f'(P+p) + \alpha \beta S V^2$$

Essa prende, come ho detto, un'altra forma quando si tratti di una linea curva.

Indicando con $2e$ la larghezza della via, e con p il suo raggio medio, gli spazi percorsi dalle due ruote di una stessa sala stanno fra loro

$$\therefore \rho - e : \rho + e$$

questa differenza di spazio percorso dà luogo ad uno strisciamento tangenziale per cui le ruote che si appoggiano alla guida interna tendono a ritardare il movimento, le altre che s'appoggiano alla guida esterna ad accelerarlo, e mentre il centro di figura del vagone percorre uno spazio eguale ad 1 le ruote interne avanzano di $\frac{\rho - e}{\rho}$, le esterne di $\frac{\rho + e}{\rho}$, lo strisciamento di ciascuna è $\frac{e}{\rho}$, e dicendo f'' il coefficiente d'attrito, la resistenza dovuta alla solidarietà delle ruote alle sale è espressa da:

$$f''(P+p) \frac{e}{\rho}$$

Un altro attrito è dovuto allo strisciamento prodotto dal parallelismo delle sale. Le ruote invece di esser tangenti prendono la direzione della corda, quindi le anteriori vorrebbero portarsi all'infuori, le posteriori all'indietro delle guide, e non restano sulle medesime che in virtù di uno strisciamento nel senso del raggio.

Questi due strisciamenti l'uno tangenziale e l'altro normale fanno sì che, mentre il veicolo descrive una circonferenza attorno al centro della curva, ogni suo punto si può con sufficiente esattezza considerare come descrivente un archetto di circolo avente il centro nel centro di figura del rettangolo determinato dai quattro punti di contatto delle ruote con le guide. Il raggio corrispondente a questi punti di contatto è l'ipotenusa del triangolo rettangolo di cui un cateto è la semi-larghezza e della via, e l'altro cateto la semi-distanza l delle due sale; ed è per conseguenza espresso da $\sqrt{e^2 + l^2}$, ed il lavoro resistente, sempre considerando l'unità di spazio, cagionato dalla solidarietà delle ruote alle sale e del parallelismo di queste, è:

$$f'' (P+p) \frac{\sqrt{e^2 + l^2}}{\rho}$$

Devesi ancora calcolare un altro termine per avere tutto il lavoro resistente addizionale cagionato dal passaggio in curva.

Il vagone tenderebbe a sfuggire per la tangente senza le pressioni che la guida esterna della via esercita sui cerchioni delle ruote esterne, pressioni che essendo dirette secondo il raggio della curva producono un attrito che, detto f''' il coefficiente, è espresso da:

$$f''' \frac{(P+p)}{g} \frac{V^2}{\rho}$$

Per averne il lavoro resta a determinarsi lo spazio percorso.

Per un istante infinitesimo noi possiamo considerare il centro della ruota e il punto di contatto dell'orlo del cerchione con la rotaia come giranti attorno al punto in cui la ruota poggia sulla guida, determinando questi tre punti un triangolo rettangolo di cui $R+h$ è l'ipotenusa, se con h si indichi l'altezza dell'orlo

della ruota, ed i due cateti sono rispettivamente R , e la distanza fra il punto di contatto della ruota con la rotaia, e il punto in cui questo è sfregata dal cerchione; e gli spazi percorsi dal centro della ruota e dal punto d'applicazione della nostra forza d'attrito stanno appunto come i due cateti, ossia

$$\therefore R : \sqrt{2Rh + h^2}$$

per ogni unità di distanza lo spazio cercato è

$$\frac{\sqrt{2Rh + h^2}}{R}$$

ed il lavoro della forza d'attrito

$$f''' \frac{P+p}{g} \frac{V^2}{\rho} \frac{\sqrt{2Rh + h^2}}{R}$$

e l'espressione generale dello sforzo di trazione in un tracciato orizzontale in curva, è:

$$T = fP \frac{r}{R} + f'(P+p) + \alpha\beta SV^2 + f'' \frac{\sqrt{e^2 + l^2}}{\rho} (P+p) \\ + f''' \frac{P+p}{g} \frac{V^2}{\rho} \frac{\sqrt{2Rh + h^2}}{R}$$

Resta per ultimo a considerarsi il movimento sopra un piano inclinato di un angolo φ all'orizzonte. Allora il peso totale dà luogo ad una componente normale al piano espressa da $(P+p) \cos \varphi$ e ad un'altra parallela rappresentata da $(P+p) \sin \varphi$. Essendo poi le acclività che si incontrano in una strada ferrata sempre tali da poter ritenere $\cos \varphi = 1$, $\sin \varphi = \text{tang } \varphi$, praticamente si tien conto della pendenza esprimendo che il motore deve rimorchiare, oltre il carico lordo, la componente del peso totale

nella direzione opposta a quella del cammino. — Riassumendo, il lavoro totale che il motore deve esercitare sopra di un vagone durante l'unità di distanza, perchè esso conservi la velocità che possedeva prima dell'istante considerato, è eguale alla somma di tutti i lavori parziali successivamente determinati ed è espresso con bastante esattezza per la pratica da:

$$T = fP \frac{r}{R} + f' (P + p) + \alpha \beta S V^2 + f'' (P + p) \frac{\sqrt{e^2 + l^2}}{\rho} \\ + f''' \frac{P + p}{g} \frac{V^2}{\rho} \frac{\sqrt{2Rh + h^2}}{R} \pm (P + p) \text{ tang } \varphi .$$

Si passa dal caso di un solo vagone a quello di un intero convoglio tenendo conto del numero dei veicoli; vi sarebbero molte considerazioni a fare sul modo di calcolare la S α e β ed in generale tutti i coefficienti f , f' , f'' , f''' riferendo le interessanti esperienze di *Wood*, *Pambour*, *Gouin*, *Lechatelier*, *Flachat*, *Petiet*, e *Polonceau*, ma parmi più conveniente una breve analisi dei termini della formola trovata per dedurne alcune conseguenze generali.

La formola trovata consta essenzialmente di due parti l'una indipendente dalla velocità, l'altra variabile con la medesima, si può per conseguenza più concisamente rappresentarla con

$$T = A + B V^2$$

In tutti i termini, ad eccezione di quello esprime la resistenza dell'aria, entra come fattore il peso del vagone, quindi la convenienza per diminuire la resistenza di costruire il materiale mobile il più che si può leggero. Fermandoci poi sul primo termine noi ne deduciamo che si diminuisce la resistenza dimi-

nuendo il diametro dei fusi delle sale ed aumentando quello delle ruote. I vagoni ordinari hanno dei diametri da 0,90 ad 1^m00, e ciò per ragioni di comodità di non render la cassa del vagone troppo al di sopra della rotaia, e poi anche perchè aumentando di troppo il diametro si amenta il peso, e quindi, secondo ciò che si è visto superiormente, si va incontro ad un aumento di resistenza trascurabile nei tratti orizzontali ma abbastanza sensibile in quelli in pendenza. — In quanto all'impicciolire i diametri dei fusi delle sale anche in ciò vi ha un limite che si può oltrepassare; ed appunto le esperienze di Wood insegnano che quando la pressione per centimetro quadrato supera i sette chilogrammi, il grasso si schiaccia, cangia la natura delle superficie in contatto ed il lavoro resistente aumenta invece di diminuire.

In quanto ai termini contenenti il quadrato della velocità essi danno ragione perchè i treni di mercanzie, per cui una grande velocità non è assolutamente necessaria come per i viaggiatori, camminino con la più piccola velocità che è compatibile con le esigenze del servizio.

I due termini finalmente contenenti il raggio di curvatura al denominatore ci dicono che il passaggio in una curva cagiona un aumento di resistenza tanto maggiore quanto minore è il raggio della curva. Questa resistenza in pratica si diminuisce considerevolmente mediante la conicità dei cerchioni e la inclinazione trasversale della via. Questa dà luogo ad un'inclinazione simile per parte del veicolo per cui esso tende ad avvicinarsi al centro della curva distruggendo così in tutto od in parte l'azione della forza centrifuga; si può distrurla completamente dando alla guida esterna sull'interna una sopra elevazione tale che la componente della gravità e della forza centrifuga mutuamente si distruggano. Invece di fermarmi sulla risoluzione analitica del problema parmi più conveniente riferire alcuni ri-

sultati di esperienze eseguite dal Polonceau per trasformare in ascesa la resistenza delle curve. Essendo la velocità di 25 chilometri all'ora e i raggi delle curve

1000^m 900^m 800^m 700^m 600^m 500^m 400^m 300^m

egli trovava che l'acclività corrispondente alla resistenza delle curve era rispettivamente per ogni metro di via $h_0^{\text{mm}} =$

0,75 1,40 1,50 1,80 2,25 2,75 3,30 3,90

posteriormente a quelle del Polonceau vennero eseguite altre esperienze per lo stesso oggetto, i cui risultati riferiti dal Vuillemin sono un po' diversi da quelli del Polonceau. Resta il termine contenente la pendenza; e siccome essa suolsi esprimere in millesimi, sia essa $\frac{h}{1000}$: allora se il peso del convoglio espresso in tonnellate è P , avremo per resistenza addizionale dovuta alla pendenza

$$1000 P \times \frac{h}{1000} = Ph$$

ossia la resistenza va aumentata di tanti chilogr. quante sono le tonnellate del convoglio moltiplicate per i millimetri della pendenza.

Nel determinare questa bisogna aver riguardo al rapporto fra il peso utile rimorchiato e il peso lordo del convoglio, giacchè si capisce che, quando questo rapporto riesca inferiore ad un certo limite, la trazione con una locomotiva è troppo dispendiosa (1). Le parti essenziali d'una locomotiva sono: la potenza evaporatrice della caldaia, che dipende dalle sue dimensioni, e dall'estensione della superficie scaldata; il peso che gravita sulle rotaie dipendentemente dalle ruote motrici. L'azione del vapore, deduzione fatta di quella parte consumata a vincere le resistenze passive del meccanismo, trova la necessaria reazione nell'aderenza delle

ruote motrici con la rotaia, e il movimento avviene appunto in virtù delle reazioni opposte dalla rotaia, le quali fanno sì che la locomotiva trovi in ogni sua posizione un punto d'appoggio. Per quanta possa essere la potenza evaporatrice della caldaia, mancando l'aderenza, che è poi proporzionale a quella parte del peso del motore che per via delle molle si riparte sulle sale motrici, le ruote più non mordono, girano sopra sè stesse senza avanzare. Determinato il coefficiente di aderenza noi potremo per ogni motore calcolare l'acclività che esso è capace di superare. Così le macchine dei Giovi di peso 66 tonnellate, ammesso un coefficiente di aderenza un settimo, sono capaci di uno sforzo di 9428 chilogrammi. Ogni tonnellata richiede una reazione di 5 chilogr. circa, a cui bisogna aggiungere tanti chilogrammi quanti metri ascende la via nel percorso di un chilometro; facendo il calcolo si trova che le macchine suddette sono capaci di salire una rampa di circa il 43 per % nella quale però non si incontrassero curve, chè in questo caso bisognerebbe tener conto dell'aumento di ascesa dovuto alle medesime. La pendenza suaccennata è quella colla quale il motore è capace di rimorchiare sè stesso, ossia il rapporto tra il peso utile e il peso lordo è zero. Le forti pendenze ci costringono a diminuire il peso che il motore impiegato sarebbe capace di trascinare, oppure, se invece della forza della macchina fosse determinato l'altro fattore peso del treno a rimorchiarsi, dovremo aumentare la potenza della macchina. Cominciamo così a conoscere quale sia l'influenza di un'acclività maggiore e minore in un tracciato ferroviario, ma siamo ancora ben lungi dal poter rispondere alla quistione: quale sia la miglior pendenza da assegnarsi ad una strada ferrata.

(1) Sia:

P_m il peso d'un veicolo vuoto.

P_u il peso utile massimo che il medesimo veicolo può contenere.

δ il rapporto del peso morto al peso utile, avremo:

$$\delta = \frac{P_m}{P_u}$$

$$\delta P_u = P_m \quad (1)$$

formoletta la quale ci esprime ottenerci il peso morto, e quindi il numero di veicoli necessari per rimorchiare un determinato peso utile, moltiplicando il peso utile dato per il corrispondente valore di δ ritenendo che i valori di P_m , P_u e δ sono diversi per le diverse specie di veicoli destinati ad un servizio ferroviario.

$$\text{per } P_u = 1 \quad \text{risulta} \quad \delta = P_m$$

ossia δ è il peso morto corrispondente all'unità di peso utile.

In quanto al peso morto osservo che bisogna tener conto della percorrenza media del peso utile e del movimento a vuoto nelle stazioni e di quello dovuto al difetto di carico in partenza; in quanto al peso utile trasportato per ogni unità di prodotto lordo chilometrico esso è in relazione con la quota chilometrica che in base alla tariffa ripaga ciascuna tonnellata di peso utile.

Siano:

p_m e p_u rispettivamente i valori di P_m e P_u corrispondenti all'unità di prodotto lordo.

ε un coefficiente da introdursi per tener conto del movimento a vuoto, in termini più espliciti ε è la frazione di p_m che dipendentemente dalla percorrenza media è necessario pel trasporto di p_u per ogni unità di prodotto lordo.

T tassa chilometrica del trasporto d'ogni tonnellata di peso utile: allora $p_u = \frac{1}{T}$ e secondo la (1) $\frac{\delta}{T}$ è il peso morto in veicolo necessario per il trasporto di p_u .

Indico con

L il numero di chilometri di cui è lunga la via.

L' quelli indicanti la percorrenza media di p_u .

$L - L'$ è la parte di linea percorsa a vuoto dalla parte di vagono corrispondente a p_u , e tutto il peso morto a vuoto corrispondente ad $L - L'$ ripartito sulla lunghezza totale è:

$$\frac{L - L'}{L} = 1 - \frac{L'}{L} = \lambda$$

quindi il peso morto necessario per trasporto di p_u dipendentemente dalla percorrenza media è: $p_m = (1 + \lambda) \frac{\delta}{T}$ e tenendo conto del peso morto corrispondente ai percorsi a vuoto per difetto di carico ecc., avremo:

$$p_m = (1 + \varepsilon) (1 + \lambda) \frac{\delta}{T} .$$

$$p_m + p_u = \frac{1}{T} + (1 + \varepsilon) (1 + \lambda) \frac{\delta}{T} = \frac{1 + \delta(1 + \varepsilon)(1 + \lambda)}{T} = p_l$$

peso lordo, per ogni unità di prodotto lordo.

II.

Giorgio Stephenson nel giugno del 1847 all'inaugurazione della linea Trent-Valley rispondeva a *Roberto Peel* che l'aveva paragonato a Giulio Agricola il celebre costruttore delle strade romane in Britannia: « Lo avere una linea diretta non è la cosa principale. Quel che vogliamo ora è una strada con tali pendenze che le locomotive possano trascinare i carichi più pesanti con la minor spesa possibile. (*) » Ora in una linea ferroviaria noi ab-

(*) Vedi vita di Giorgio Stephenson scritta dallo *Smiles*.

biamo la spesa di costruzione e la spesa di esercizio, funzione dell'una e dell'altra è il reddito; e non mi sarà difficile dimostrare che entrambi quelle spese sono funzioni della pendenza.

Stiamo al caso proposto di congiungere due punti separati da una catena di montagne.

La lunghezza della linea è in ragione inversa della pendenza che si adotta; e maggiore è la pendenza, più facilmente potremo seguire l'andamento naturale del *thalweg*, che è la linea tecnicamente più breve per raggiungere un punto abbastanza alto perchè la galleria che deve congiungere i due versanti non riesca soverchiamente lunga. Maggiore pendenza vuol dunque dire minor lunghezza nel traforo che deve unire le due valli, il che è importantissimo in una ferrovia di montagna, ossia vuol dire minor spesa d'impianto, e per conseguenza minore anche quell'annualità comprendente l'interesse del capitale e l'ammortimento di cui ciascun chilometro di ferrovia resterà gravato.

Consideriamo ora la pendenza rispetto alla spesa d'esecuzione.

Difficilissimo sempre è l'apprezzamento della spesa d'esercizio dipendendo essa da dati positivi corrispondenti alle minute particolarità del servizio; ma anche senza entrare in una esposizione di dati statistici si capisce facilmente come la spesa di esercizio debba constare di due parti, l'una indipendente dall'inclinazione della via, l'altra variabile con essa. Quando si impiantarono le prime ferrovie si esagerò molto l'influenza della pendenza sopra la spesa d'esercizio, poi si andò sino a negarla affatto, ed il *Teisserenc* sostenne che a partire da un certo limite l'inclinazione della via non aumenta menomamente le spese d'esercizio anzi sembra diminuirle, giacchè paragonando diverse strade ferrate inglesi egli trova le suddette spese minori in quelle a forti pendenze che nelle altre a pendenze dolci. — A sostegno di questo *paradosso* ferroviario, mi si passi l'espressione, il *Teis-*

serenc produsse una numerosa raccolta di quadri numerici, i quali lo conducevano alle seguenti conclusioni:

1° Nelle forti pendenze non vi ha a rigor di termine perdita di tempo, perchè la diminuzione della velocità cagionata dalla salita, è economicamente compensata nel percorso della contropendenza, in cui il declivio serve da motore gratuito e permette di raggiungere grandi velocità;

2° Sulle vie a forti pendenze la manutenzione della strada costa meno che non su quelle orizzontali, perocchè queste non furono ridotte tali se non con grandi lavori di sterri, interri, trincee, costantemente minacciati da franamenti, compromettenti la sicurezza dei viaggiatori ed aumentando le spese di manutenzione della via.

I casi d'affluenza di viaggiatori e mercanzie necessitanti l'impiego di macchine di rinforzo sono tanto frequenti colle strade ferrate a piccole che su quelle a pendenze forti.

4° Il peso del convoglio in armonia con le esigenze del traffico è sempre minore di quello che le locomotive possono rimorchiare senza gravi difficoltà sulle vie a pendenze dolci, quindi queste macchine possono superare pendenze di 7, 8, 9 millimetri.

5° Finalmente le spese supplementari delle strade ferrate a forti pendenze necessitano un sistema generale di economia, che influisce tanto favorevolmente su tutti i rami dell'amministrazione da dare dei lauti dividendi con entrate brutte meno elevate.

Non si può negare a questi risultati una certa importanza, bisognerebbe però esser ben sicuri della bontà delle premesse su cui esse si fondano.

Confesso poi che per quanta sia l'autorità del *Teisserenc* e lo spirito pratico di cui voglio supporlo dotato, non capisco troppo la forza dell'ultimo argomento; parmi che quando si confrontano due linee ferroviarie rispetto alle spese d'esercizio le si debbano

considerare nelle medesime condizioni, e le spese si nell'una che nell'altra ridotte ai minimi termini: che se poi gli amministratori di una linea sono o più abili, o più economi di quelli di un'altra, in ciò parmi non abbia nessun merito la maggiore o minor pendenza. E forse è appunto il non essere le diverse strade esaminate dal *Teisserenc* in eguali condizioni, e forse anche le statistiche gli vennero fornite incomplete, che lo condussero tanto oltre da conchiudere nulla l'influenza dell'acclività sull'esercizio, anzi ad ammetterla negativa. È una conclusione la sua che come dicono i logici *prova troppo*.

Fermiamoci un istante a considerare che cosa valga il suo *economicamente* nel percorso della contropendenza.

L'abbiamo già accennato, quando il treno va in discesa, la gravità permette di diminuire lo sforzo di trazione, anzi aumentando la pendenza cresce la potenza acceleratrice della componente della gravità nella direzione della via fino a doverla combattere coi freni. Il risparmio che si fa è nella spesa chilometrica *combustibile*, di cui il consumo è in ragione della forza meccanica svolta, la quale, a parità di condizioni è sensibilmente proporzionale al peso Π della locomotiva, progredendo questa col solo *tender*; la componente della gravità produce uno sforzo espresso da Πh , essendo h la discesa per metro di via; ne segue che la diminuzione della spesa chilometrica *combustibile* è in ragion composta diretta del peso del motore e dell'inclinazione adottata. Praticamente poi bisogna osservare che la locomotiva deve esser pronta ad ogni eventualità del cammino, e quindi non si può sopprimere l'aspirazione; secondariamente poi essendo convenienza il curare la conservazione dell'organismo della macchina, è pure conveniente che la locomotiva anche nelle forti discese progredisca a deboli dose di vapore. I pratici ritengono che la diminuzione della spesa *combustibile* sia nelle discese $\frac{1}{4}$.

di quella che ha luogo pel cammino a livello. Ma accanto a questo risparmio noi dobbiamo considerare anche il caso in cui è necessario tener conto di un aumento di spesa quando l'azione della gravità deve esser vinta dal freno. — Su di un piano orizzontale lo sforzo necessario per mettere in movimento una locomotiva si può esprimere con

$$(r + 0,010) \Pi$$

essendo Π il peso del motore, 0,010 lo sforzo necessario per vincere le resistenze opposte del meccanismo, ed r la resistenza che deriva da tutte le rimanenti cause che si oppongono al movimento, e che non sarebbe difficile calcolare dopo quel che si è detto in principio. Nel caso di una discesa h questa espressione diventa:

$$(r + 0,010 - h) \Pi$$

e siccome la r è funzione di V supponendo questa di 35 chilometri circa l'ora, che è la velocità ordinaria, la formola si riduce a:

$$(0,015 - h) \Pi$$

ossia essa è nulla per $h = 0,015$, il che val quanto dire che per inclinazioni superiori a 0,015 bisogna combattere la potenza acceleratrice della componente della gravità coi freni, e allora dovremmo tener conto della deteriorazione della via dovuta ai medesimi, e del costo per ogni chilometro percorso del personale d'ogni freno supplementare. Entrambi queste due spese sono abbastanza considerevoli per farci persuasi che dell'economicamente del signor *Teisserenc* può rimanere ben poca cosa (2).

Meglio che ogni ragionamento vale a convincere l'esempio della rampa dei Giovi. Lungo la medesima la spesa di manutenzione

della via dovuta al passaggio del convoglio è compresa fra il doppio ed il triplo di quella che ha luogo nei tratti di pendenza media 0,010, arrobe la deteriorazione manifestarsi meno sul binario di ascesa che su quello di discesa per modo che su questo si ritiene assolutamente tripla.

Le conclusioni accennate al numero due di minori tagli, minori rilevati, ecc. corrispondono a quelle da noi già fatte relativamente alla spesa di costruzione che riesce minore adottando pendenze forti; in quanto alla minor spesa di manutenzione essa non può essere molto considerevole dipendendo molto dal modo con cui vennero eseguite le suddette opere.

Un'attività di traffico tale quale è quella ammessa nei numeri 3 e 4 è dote particolare di poche linee, e da casi speciali non si possono dedurre conseguenze generali.

La tesi sostenuta dal *Teisserenc* con tanta copia di argomenti non mancò di destare l'attenzione di quanti si occuparono di ferrovia, a cifre si opposero cifre con risultati più o meno diversi. Nel Perdonnet fra gli altri troviamo un'accurata serie di analisi, e da tutte risulta ad aumento di pendenza corrispondere un aumento di spesa di esercizio. Quest'aumento di spesa varia fra limiti piuttosto estesi per diverse linee ma ciò dipende dal diverso rapporto fra i treni dei viaggiatori e i treni merci, dal carico differente dei treni, dalla diversa velocità ecc. Di tutti i risultati del Perdonnet amo particolarmente riferire quelli relativi alla strada da Epernay a Reims in cui si hanno due rampe di 9 millimetri inclinate in senso contrario, la prima ha una lunghezza di 41 chilometri, è di 8 la seconda, come si vede è uno dei casi che dovrebbero meglio convenire al numero 4 delle conclusioni del *Teisserenc*. Or bene l'esercizio di queste due rampe porta con sé un accrescimento di spesa di circa 0,75 per chilometro contando il percorso totale di 87,600 chilometri all'anno.

Riferisce poi anche il Perdonnet le spese d'esercizio nel tratto fra Genova-Pontedecimo e Busalla.

Nel 1° tronco Genova-Pontedecimo abbiamo:

pendenza media	5 ^{mm} ,8
massima	11 ^{mm} ,
curve di 400 e 500 metri di raggio.	

Nel secondo tronco da Pontedecimo a Busalla:

pendenza media	28 ^{mm} ,2
massima	35
in galleria	28,7

Nel primo le spese risultano le seguenti:

Trasporto di viaggiatori per ogni carrozza di viaggiatori ad 1 chilometro	L. 0, 190
Per tonnellata brutta per chilometro	» 0, 029
Per trasporto di mercanzie per ogni vagone per chilometro salita e discesa è di	» 0, 200
Per ogni tonnellata brutta in ascesa	» 0, 038
id. netta id.	» 0, 061

Nel tratto successivo Pontedecimo-Busalla per le medesime spese si trovano le seguenti cifre:

Trasporto di viaggiatori ecc.	L. 0, 370
Per tonnellata brutta	» 0, 570
Trasporto di mercanzie sempre per vagone e per ogni chilometro di via	» 0, 490
Per tonnellata brutta	» 0, 092
id. netta	» 0, 149

Dalle quali cifre si conchiude essere la spesa diversa secondo che si tratta di un treno a viaggiatori o di uno a mercanzie; nel primo caso crescendo la pendenza da 5^{mm} ,8 a 35^{mm} la spesa resta raddoppiata; nel secondo caso la spesa risulta due volte e mezza la primitiva.

Mi è sembrato conveniente riferire questi risultati poichè rispondono ad alcune conclusioni cui arriva il Cottrau ragionando sulle pendenze nel modo seguente.

Amnesso che effetto della pendenza sia o un aumento di potenza nel motore ad impiegarsi per trascinare un determinato carico, oppure una diminuzione del carico quando non si possa accrescere la potenza della macchina, esso si traduce sempre in un aumento della spesa chilometrica combustibile; le altre spese manutenzione e sorveglianza della via, manutenzione e riparazione delle macchine e del materiale mobile, resteranno sensibilmente le stesse o almeno cresceranno in proporzioni relativamente trascurabili. Se la maggior spesa non deriva che dal maggior consumo di combustibile, essa sarà proporzionale al coefficiente di trazione. Dalle statistiche, sempre secondo il Cottrau, risulta che la spesa di trazione non rappresenta che l'ottava parte della spesa totale di esercizio, ossia $A = 8 a$ indicata con A la spesa totale d'esercizio, con a la spesa di trazione.

Passando da una pendenza di 5^{mm} , ad una di 35^{mm} , suppone nella peggiore delle ipotesi che la spesa di trazione resti quadruplicata, e scrive:

$$7 \times a + 4 a = 11 a = B$$

ossia

$$A : B :: 8 : 11$$

e conchiude la spesa chilometrica aumentare da 8 ad 11, mentre la pendenza varia da 5 a 35 millimetri.

Noi abbiám visto che questa spesa aumenta in una ragione molto piú forte, il *relativamente trascurabili* del signor Cottrau, essendo contraddetto dal fatto che appunto nella rampa dei Giovi che ammette appunto la pendenza del 33 p. $\frac{00}{00}$ la deteriorazione della via è fra il doppio e il triplo di quella che si osserva nei tratti di pendenza inferiori al 10 p. $\frac{00}{00}$.

Una linea di cui sarebbe molto importante conoscere dettagliatamente, spesa di costruzione, spesa d'esercizio e reddito, è quella *Enghien-Montmorency*. Essa si eleva progressivamente con pendenze da 4,4 a 17,5 millimetri e raggiunge la stazione di estremità con una pendenza del 45 p. $\frac{00}{00}$ che mantiene per piú di un chilometro. Ammette una forte curva di 200 metri di raggio partendo da *Enghien* ed al piede della collina di *Montmorency* si ha per circa mezzo chilometro una curva di circa 500 metri di raggio.

Da poco aperta al pubblico non si hanno ancora dati sufficienti per poterne calcolare con qualche esattezza le spese d'esercizio; essa venne molto osteggiata dal Corpo dei ponti e strade in Francia che si mostrò sempre molto restio ad accordare in tracciati di ferrovie l'adozione di forti pendenze. Le locomotive che ne fanno il servizio sono le *Petiet* con 124 mq. di superficie di riscaldamento. Appartengono alla classe delle locomotive di montagna, note in Francia con il nome di locomotive *fortes rampes*; e con esse si fa ragione alla forte acclività aumentando la potenza della macchina, perchè corrisponda ai treni che si devono rimorchiare, e qui cade l'osservazione che per soddisfare a tutte le esigenze di una buona locomotiva di montagna noi giriamo in un circolo vizioso. Aumentarne la potenza vuol dire far concorrere tutto il peso, compreso gli approvvigionamenti, all'aderenza, aumentare il numero delle sale ed accoppiarle tutte perchè diventino motrici. Bisognerebbe poi renderle flessibili

perchè possano girare in curve di piccol raggio, ora per ciò bisognerebbe diminuire le distanze fra le sale estreme, permetter loro di spostarsi le une rispetto alle altre, il che è reso precisamente più difficile dal dover aumentare il numero delle sale così pure più è necessario di accoppiar le sale più è difficile dar loro la mobilità necessaria. Quando poi rispetto alle medesime si considerino le spese d'esercizio, si dovrà distinguere il caso in cui servono solo per il tronco a forte pendenze, dall'altro in cui fanno il servizio di tutta la linea; nel primo abbiamo un accrescimento di spesa nel dover mantenere macchine apposite per piccoli tratti, nel secondo avremmo indubitatamente maggior convenienza quando la spesa di manutenzione della via non aumentasse che in piccole proporzioni. Costrurre una macchina che essendo atta a vincere forti pendenze sia anche abbastanza economica nei tratti orizzontali, è un problema che il costruttore di locomotive deve proporsi, ma una compiuta risoluzione del medesimo è ancora un desiderio; la locomotiva ha già però abbastanza progressi per lasciarcelo sperare.

Da quanto siamo finora venuti esponendo si capisce come sia difficile farci un'idea precisa e ben definita sulla questione delle pendenze. Abbiamo visto dover diffidare di quadri statistici sempre più o meno imperfetti, e soggetti ad interpretazioni diverse, così pure dover andar molto a rilento nell'accogliere le conclusioni di teorie quando non tengono in debito conto tutte le circostanze che esse debbono riassumere. È un progredir lento quello dello spirito umano che rimonta dagli effetti che lo colpiscono alle cause che gli sono ignote, se con sicurezza si può discendere dai principii generali ai fatti che ne sono conseguenza, nel cammino inverso non si può procedere che con incertezza provando e riprovando ipotesi le quali appunto non appartengono alla scienza che come altrettante fermate dello spirito.

Si capisce però nel caso nostro la possibilità di riassumere tutti gli elementi che concorrono a formare la spesa d'esercizio in una espressione analitica che sia funzione della differenza di livello dei due punti a raggiungersi, espressione analitica la quale ci mostrerà la spesa crescere col crescere della pendenza adottata, ed essere minima quando l'acclività adottata sia uniforme, il che si può presentare *a priori*, giacchè la scelta del motore dipende dalla pendenza massima che esso è destinato a salire, quindi se la pendenza non sia uniforme esso riuscirà tanto più sconveniente sopra alcuni tronchi di strada quanto maggiore è la differenza tra la pendenza massima e la minima che vennero adottate. Quando poi ragioni di economia obbligassero a rinunciare al principio tecnico delle pendenze uniformi per adottarne delle variabili, la formola ci insegnerebbe la convenienza di concentrare le rampe di una certa inclinazione su di un sol punto dando loro una considerevole lunghezza, e non a moltiplicarle raccorciandole.

Dall'essere la spesa d'esercizio minore in una salita dolce che in una forte non ne consegue di necessità la convenienza di adottare la prima anzichè la seconda in un tracciato di ferrovia fra punti separati da montagne; vuolsi fare la debita ragione alla spesa di primo impianto che come abbiamo già accennato varia in ragione inversa della pendenza, e quindi avremo la pendenza *economica* ossia il massimo di convenienza nel punto in cui si equilibrano le minori spese d'esercizio con gli interessi della maggiore spesa di costruzione.

Così a ragion d'esempio vediamo l'importanza di uno dei termini che entrano a determinare la spesa di costruzione per es. lo sviluppo, il quale evidentemente riesce tanto minore quanto maggiore è la pendenza adottata. Supponiamo che nel tracciato di una linea Alpina si dovesse scegliere tra la pendenza del 15 per $\frac{00}{00}$ e l'altra del 25 per $\frac{00}{00}$.

Lo sviluppo riesce nel primo caso di due terzi maggiore, e nello stesso rapporto cresce il costo, dipendendo esso dalle condizioni del terreno per cui la linea tracciata deve passare, e queste risultando identiche nei due casi, che entrambi suppongono uno sviluppo sulle falde dei monti. Se quindi si suppone che con la pendenza del 25 per $\frac{00}{100}$ il costo chilometrico sia in cifre tonde di 750000 lire, con la pendenza del 15 per $\frac{00}{100}$ avendosi per salire i medesimi 25 metri una percorrenza di due terzi maggiore si avrà anche una maggiore spesa di L. 500 000 che danno un annuo interesse di L. 25 000. Affinchè adunque fosse conveniente di adottare la pendenza del 15 per $\frac{00}{100}$ bisognerebbe che essa presentasse un'economia annua nelle spese d'esercizio di L. 25 000, o almeno di L. 20 000 volendo tener conto dell'economia che si otterrà nell'acquisto del materiale mobile. Bisognerebbe quindi stabilire un calcolo dettagliato per determinare la spesa di una tonnellata di merce e di viaggiatori nei due casi, e calcolato il risparmio per ogni tonnellata fare il conto se il movimento commerciale che si svilupperà su quella linea possa assicurare un transito di un numero tale di tonnellate da risparmiare le L. 25 000. Nel far questo computo bisogna tener conto che è sempre necessario un certo periodo di tempo perchè le località traversate dalla ferrovia usufruiscano completamente delle nuove condizioni economiche fatte loro dalla medesima. È questa la ragione del trovarsi sempre nei primi anni d'esercizio di una linea il rapporto fra le spese e l'introito lordo molto elevato, per poi progressivamente decrescere convergendo verso un limite che ci rappresenta lo stato normale della pubblica ricchezza nel paese in rapporto ai benefizi arrecati dalla strada ferrata.

Per quanto si voglia suppor vivo il traffico tra due paesi separati da una catena di monti è ben difficile che si giunga ad averlo

tale da raccomandarci la pendenza del 15 per $\frac{00}{100}$ invece dell'altra 25 per $\frac{00}{100}$. Vi sarebbe da considerare il caso in cui l'accrescimento di lunghezza che la strada acquista per l'adozione di una pendenza più dolce fosse fatta nella direzione della via, ossia accennando alla meta. Ma anche in questa migliore ipotesi si ha sempre l'inconveniente di sostituire un andamento obbligato a sostenersi sulle falde dei monti, e per conseguenza dispendioso ad un altro più economico, ossia di costo ordinario come quello che può farsi al piede del monte o al fondo della valle.

Si vede dal caso considerato come si debba procedere per scegliere la pendenza di una determinata linea.

Sarebbe molto conveniente se si potesse risolvere analiticamente il problema della migliore pendenza da adottarsi in una strada ferrata riducendolo ad un calcolo di massimi e di minimi, ma per questo bisognerebbe conoscere un'espressione analitica della spesa di costruzione in funzione della pendenza od in altri termini in funzione delle ordinate dei due punti che segnano le estremità dei versanti a congiungersi e del punto di altezza massima. In una simile questione invece noi non possiamo che procedere per tentativi, cercando di determinare il costo di diversi tracciati a pendenze diverse e fra questi preferir quello che risponde alla minor somma dell'interesse del capitale con le spese d'esercizio.

(2) Sia C il complesso del carico lordo progrediente su linea orizzontale;

m la spesa chilometrica di ogni tonnellata lorda;

Π il peso del motore;

Cm indicherà la spesa chilometrica richiesta da C .

La locomotiva deve rimorchiare oltre il carico lordo la compo-

nente del peso totale nella direzione opposta a quella del cammino in ascesa con pendenza h : questa componente è

$$(C + \Pi) h$$

essendo r lo sforzo che deve fare il motore per ogni tonnellata il costo di uno sforzo motore equivalente ad una tonnellata è $\frac{m}{r}$; e

$$(C + \Pi) \frac{h m}{r}$$

esprime il costo chilometrico corrispondente alla componente suddetta, e la spesa chilometrica totale del treno ascendente è:

$$m \left\{ C \left(1 + \frac{h}{r} \right) + \Pi \frac{h}{r} \right\} = \frac{m}{r} \left\{ C(r + h) + \Pi h \right\}$$

Per la discesa distinguo i due casi $h \leq r$ e $h > r$.

1° Caso: sforzo motore richiesto dal movimento del convoglio e dalla massa della locomotiva è:

$$(C + \Pi) r$$

componente del peso:

$$(C + \Pi) h$$

sforzo motore a pagarsi:

$$(C + \Pi) (r - h)$$

spesa totale in discesa:

$$\frac{m}{r} (C + \Pi) (r - h).$$

Riunendo le due espressioni spesa chilometrica salita e discesa su rampa inclinata h per $h \leq r$ si ha un risultato indipendente da h ;

2° Caso: $h < r$, è necessario tener conto del freno alla discesa e quindi della spesa dei freni supplementari rispetto al personale.

I freni devono essere sufficienti a far equilibrio alla compo-

nente Ch del carico nelle due direzioni del cammino, quindi se suppongo il coefficiente $\frac{1}{10}$, per tener conto d'ogni peggior condizione, il peso aderente sarà 10. Ch.

Sia ω il peso medio di un carro a freno, il numero di questi sarà :

$$\frac{10}{\omega} Ch.$$

Ogni freno importa una spesa chilometrica n ; i freni supplementari devono esser muniti del loro personale all'ascesa ed alla discesa, e la spesa chilometrica totale sarà :

$$\frac{10n}{\omega} Ch.$$

Ritenendo il peso di un vagone carico di 7 tonnellate, ed

$$n = 0,028$$

come d'ordinario la spesa dei freni supplementari è :

$$0,040 Ch.$$

Sopra una rampa r d'inclinazione il costo dei freni è $0,040 Cr$, per conseguenza il costo dei freni supplementari su rampa h è :

$$0,040 C(h - r)$$

ossia la spesa chilometrica di trazione propriamente detta di- viene salita e discesa comprese :

$$0,040 C(h - r) + \frac{m}{r} \left\{ C(r + h) + \Pi h \right\}$$

o più genericamente indicando con λ il valore ora determinato per 0,040

$$\lambda C(h - r) + \frac{m}{r} \left\{ C(r + h) + \Pi h \right\}.$$

III.

Noi abbiamo implicitamente ammesso che entrasse nel tracciamento della nostra linea Alpina una grande galleria, il sistema di trazione essendo la locomotiva. Non vi ha proprio altro mezzo di far valicare ai convogli le nostre Alpi?

È una questione che sorge spontanea dopo quanto siamo venuti esponendo. Molti si sono affaticati per trovare un sistema di trazione che sostituisse l'ordinario con le locomotive, e permettesse di abbandonare i grandi trafori, ed allo stato attuale noi possiamo dire tre sistemi concorrere con quello a grandi gallerie per valicare le Alpi.

1° Il sistema atmosferico a cui si dichiarò favorevole il Paleocapa e particolarmente patrocinato dal *Daigremont*.

2° Il sistema Fell.

3° Il sistema Agudio.

Il signor Daigremont teme che dopo aver speso l'ingente somma di circa 100 milioni nella galleria del Moncenisio non si abbiano ad incontrare grandi difficoltà nel suo aeramento. Esprimere l'opinione che questi suoi timori sono per lo meno esagerati non conchiude a nulla, meglio vale aspettare l'esperienza. Egli propone un gran tubo in muratura di 4^m,60 di diametro per potersi servire del materiale ordinario nel quale il movimento del convoglio si faccia mediante l'aspirazione dell'aria da una parte e la compressione dall'altra; si ha un freno alla discesa nella resistenza dell'aria.

All'atto pratico vorrebbe dei tratti a fortissime pendenze ed adotta poi la locomotiva per rimorchiare il convoglio fra un tratto e l'altro. Si ha con questo sistema misto l'inconveniente

di dover trascinare con sè dentro il tubo la locomotiva con un consumo inutile di combustibile ed una forte combustione in un tubo chiuso che lascia appena adito al convoglio, oppure la difficoltà di impiantare un regolare servizio di macchine in località inospite, e per buona parte dell'anno sepolte nella neve.

Considerando in generale un sistema atmosferico di trazione si lamenta la mancanza di esperienze conclusive.

Del sistema Fell la parte essenziale e caratteristica è la rotaia centrale contro cui due coppie di ruote orizzontali annesse al motore son premute da forti molle spirali di acciaio di cui il macchinista regola la tensione in modo da aumentare ad arbitrio l'aderenza della macchina. Arditissima opera fu l'applicazione di questo sistema al Moncenisio seguendo tutte le accidentalità del terreno su cui la linea si è dovuta tracciare, con pendenze che raggiungono l'83 per $\frac{00}{100}$ e curve il cui raggio discende a 39 metri. Venne questa linea aperta al pubblico il 15 giugno 1868, e l'esercizio della medesima ha messo fuor di dubbio l'opportunità e l'attitudine della rotaia centrale su di una ferrovia di montagna. Il costo di primo stabilimento della via è di circa 216 mila lire per chilometro. Mi rincresce non aver nessun dato relativo alla spesa chilometrica d'esercizio, evidentemente si è ancora in uno studio di prova, e le cifre relative ad un solo anno d'esercizio non sarebbero base sicura per giungere a considerazioni generali. Quella che deve essere molto grave è la manutenzione della via, in regioni così esposte alle intemperie, ne fanno fede le frequenti interruzioni che si hanno a lamentare nel servizio.

In una pubblicazione inglese sui diversi passaggi Alpini *The Alps and the Eastern Mails* per Sir Cusack P. Roney parlando del passaggio del Moncenisio col sistema Fell dopo averne accennata l'economia e la sicurezza si conchiude: « Quando il *tunnel*

sarà aperto si guadagneranno 10 chilometri sul tragitto, e si economizzeranno così 3 ore: ma quanto costerà il *tunnel*? — Volendo fare un confronto fra i due passaggi inferiore e superiore del Moncenisio, non sono soltanto le tre ore che il primo economizza sul secondo che si devono considerare, anche questo è un vantaggio da non trascurare perchè se è di poca importanza per le merci, non lo è per i viaggiatori, ma piuttosto dovremmo proporci la domanda se il passaggio superiore basti alle esigenze di un traffico internazionale, tanto nelle condizioni presenti quanto in quelle che possano esser fatte da un maggior incremento della pubblica ricchezza dei due paesi, e qualora la risposta fosse negativa dovremmo concludere ad una maggiore economia del passaggio inferiore sul superiore, anche a fronte dell'ingente spesa di primo impianto della galleria.

È indubitato che entrambe le linee presenteranno una deficienza annua per chilometro di via, e quindi una perdita di capitale, ma questa perdita andrà convergendo verso un limite molto piccolo col crescere dell'entrata ossia coll'aumento del traffico, rispetto al passaggio inferiore, mentre invece per il passaggio superiore soggetto a molte e variate vicende la difficoltà del servizio andrà aumentando coll'aumentare del traffico. Ciò è conseguenza manifesta dell'esser il massimo carico che può trascinarsi dalla locomotiva Fell di sole 24 tonnellate ammettendo le cifre del programma dell'esercizio e con una velocità media di 13 chilometri per ora.

Un aumento di traffico importa adunque un aumento nel numero dei convogli giornalieri, e questo essendo necessariamente limitato quello non potrà mai oltrepassare un certo limite. Un inconveniente che concorrerà a render sempre passiva la strada ferrata Fell anche nelle migliori condizioni possibili si è quello della necessità del *trasbordo* delle merci di transito, che oltre

al disturbo importa una spesa non indifferente, proporzionale al numero delle tonnellate trasportate, e quindi crescente col crescere del traffico. Tenendo conto di essa e di tutte quelle altre che crescono in ragione diretta dell'attività del movimento commerciale come sarebbero quelle occasionate da un accrescimento di personale, da un maggior numero di macchine, conseguenza dell'aumento dei convogli giornalieri, è logico il concludere che si ha nel passaggio superiore del Moncenisio fatto col sistema *Fell* una perdita di capitale la quale tende a perpetuarsi, mentre per il passaggio inferiore questa medesima perdita tende verso zero giacchè è decrescente col crescere dell'entrata e questa è in ragion diretta del traffico. Per quanto adunque sia da encomiarsi il signor *Fell* per la sua traversata delle Alpi, non è il suo che un provvedimento transitorio per le esigenze degli scambievoli rapporti fra il nostro paese e la vicina Francia. — Resta il sistema *Agudio*. — È esso un perfezionamento del sistema di trazione su piani inclinati con macchine fisse, ottenuto utilizzando i progressi delle trasmissioni telodinamiche.

Noi avevamo già il piano inclinato di *Liegi*, dovuto al *Maus* che supera una differenza di livello di 440 metri ripartita su 4 chilometri, quindi la pendenza media è di 0,0275; il piano inclinato della strada ferrata da *Lyon* alla *Croix Rouge*, 489^m,20, di lunghezza, 70 metri di differenza di livello, pendenza media 0,160 dovuto agli ingegneri *Molinos* e *Pronnier*, ma questi due sistemi come tutti gli altri che precedettero quello dell'*Agudio* richiedono una pendenza relativamente debole per non esagerare il diametro della fune, ed un tracciato rettilineo per le grandi perdite di lavoro che le risvolte cagionano; col sistema *Agudio* invece il piano inclinato può stabilirsi in curva in modo da seguire l'andamento del suolo. L'ostacolo principale all'adozione di pendenze molto forti, e di curve alquanto risentite negli an-

tichi sistemi funicolari consiste nel richiedersi per entrambi i casi un aumento considerevole nella sezione della fune. Ora nel sistema Agudio questa agisce come in una trasmissione *telodinamica*, non è più impiegata come mezzo diretto di trazione, ma come mezzo di trasmissione della forza da due motori fissi alle puleggie mobili del locomotore cui è attaccato il convoglio. Essendo motori ambedue i tratti della fune, la sezione della medesima è già ridotta a metà, di più con questa trasmissione differenziale a doppio effetto si può variare il rapporto fra la velocità della fune e quella del convoglio, aumentando questo rapporto diminuire ancora la sezione, ed ovviare così completamente al vizio radicale d'ogni precedente sistema di trazione funicolare.

Le prime esperienze di questo sistema di trazione funicolare vennero fatte a Dusino, e diedero risultati soddisfacenti, e veramente il sistema riscosse l'approvazione e la lode universale di quanti particolarmente all'estero ebbero a riferirne parlando dell'Esposizione Universale del 1867.

Relativamente all'economia di questo sistema in una Memoria del Cottrau trovo il quadro seguente:

Pendenza in millimetri	FORZA SPESA IN CAVALLI-VAPORE		
	Locomotiva ordinaria	Locomotiva <i>Fell</i>	Motore Agudio
0	10,79	12,28	20,12
10	34,58	24,48	59,36
20	65,01	42,90	92,52
30	103,95	63,31	135,51
40	130,95	86,04	170,16
50	228,68	111,56	212,62
60	337,74	140,33	251,18
70	519,75	173,05	288,98
80	885,57	210,69	327,34
90	1975,05	254,33	377,05
100	∞	299,89	403,98

Questi risultati porterebbero a concludere che sino ai 25 chilometri di pendenza le macchine ordinarie sono preferibili tanto alla locomotiva Fell che al motore Agudio, che quest'ultimo poi riesce sempre inferiore al Fell, e non è applicabile che nei casi in cui si possa usufruire di una forza meccanica gratuita.

Anche con questa conclusione il motore Agudio sarebbe un mezzo di utilizzare le nostre numerose cadute d'acqua. La giustezza di questi risultati a cui è giunto il Cottrau è impugnata dall'Agudio che rifacendo il calcolo in modo secondo lui più esatto trova la locomotiva ordinaria preferibile agli altri due sistemi di trazione sino al 25 per $\frac{00}{100}$. Dal 25 al 33 per $\frac{00}{100}$ poca differenza. Dal 33 al 120 per $\frac{00}{100}$ il locomotore Agudio sorpassare gli altri due.

Comunque sia la cosa farà ampia ragione ai pregi ed ai difetti di questo sistema di trazione il grandioso esperimento che se ne deve eseguire al Moncenisio, ed allora si vedrà se esso veramente meglio di qualunque altro convenga ad un passaggio Alpino.

TESSITORE EDOARDO.

TESI LIBERE

MECCANICA APPLICATA

Vite a pane rettangolare — Calcolo della pressione che ha luogo fra la vite e la chiocciola, dell'attrito che ne risulta, e del lavoro dal medesimo consumato.

COSTRUZIONI CIVILI, IDRAULICHE E STRADALI

Travate rettilinee — Relazione fra i momenti inflettenti su tre appoggi successivi.

MACCHINE A VAPORE E FERROVIE

Macchina termica perfetta.

GEOMETRIA PRATICA

Determinazione analitica di un punto trigonometrico per mezzo di altri tre dati di posizione — Caso indeterminato.



