

## L'INGEGNERIA CIVILE

B

## LE ARTI INDUSTRIALI

PERIODICO TECNICO MENSILE

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

## COSTRUZIONI CIVILI

CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI FRANOSI  
ATTRAVERSATI  
DA STRADE ORDINARIE E FERRATE.*Memoria dell'Ing. LIBERTINO SODANO*

## Prefazione.

Lo sviluppo sempre crescente della viabilità è una gloria del presente secolo.

La necessità di stabilire relazioni commerciali con l'interno dei continenti, e quindi con paesi montuosi, ha imposto la costruzione di vie di comunicazione sia rotabili, che ferrate, in terreni accidentati e di variabilissima struttura.

Il costruttore generalmente procura di assicurare alla via una sede stabile e sicura, studiando opportunamente il tracciato; ma all'atto pratico, in molti casi, si è trovato di fronte a così gravi difficoltà per l'indole eminentemente franosa dei terreni, che ha dovuto attraversare suo malgrado, da dovere impegnare lotte, talvolta titaniche, fra la scienza e le forze della natura, disturbate nel loro naturale equilibrio.

La scienza, nella lotta, ha quasi sempre trionfato, e può ascrivere anche a gloria di questo secolo la soluzione del problema del consolidamento delle frane, anche le più imponenti.

Se non che, come accade quasi sempre in simili casi, i principii della scienza hanno dato luogo a molteplici e svariate applicazioni per parte dei costruttori; i quali, pur di vincere le difficoltà, non hanno badato alla scelta dei mezzi più adatti, cosicchè talvolta in un consolidamento si è largheggiato con opere sussidiarie costosissime e di nessuna efficacia, quando le opere principali per se stesse sarebbero state sufficienti per assicurare la stabilità della via.

Infatti, la maggior parte dei lavori di consolidamento dei terreni in movimento è riuscita dispendiosissima per le accennate circostanze, e più principalmente perchè nella compilazione dei progetti, alla scelta dei mezzi più adatti, non si è accoppiata la scelta dei mezzi più economici.

Perciò al costruttore s'impone ora la soluzione di un altro gravissimo problema, quello cioè di limitare i mezzi di consolidamento, di cui la scienza dispone, a quelli di effetto più sicuro e nel contempo più economici.

La soluzione di tale problema è invero reclamata dal bisogno di non incorrere più nelle ingenti spese già sostenute pel consolidamento della sede stradale nelle località montuose del nostro Regno e più specialmente della Sicilia: le quali spese, talvolta per qualche tronco superiori all'effettivo costo chilometrico di costruzione della via, dimostrano chiaramente che si sono superate felicemente gravi difficoltà, pagando però il successo a caro prezzo.

Saviamente perciò ha operato il Ministero dei Lavori Pubblici nel bandire fra i suoi ingegneri il concorso sopra

una delle più astruse e difficili parti della scienza delle costruzioni stradali, affinché essi accorressero numerosi a portare il contributo della loro esperienza e dei loro studi, nel fine di determinare i criteri generali e più economici, coi quali devono progettarsi in avvenire i consolidamenti nei casi più frequenti della pratica.

Ciò ci proponiamo nello svolgimento del tema proposto, avendo avuto occasione di esaminare importanti progetti di consolidamento per la ferrovia Palermo-Corleone, di sorvegliarne l'esecuzione e di constatare in seguito la perfetta riuscita dei lavori eseguiti (1).

E nel desiderio di conseguire tale scopo nel miglior modo possibile e di potere citare casi pratici, con paziente lavoro abbiamo fatto ricerca di quelle opere di consolidamento, già eseguite, che hanno dato ottimi risultati, consultando progetti attuati e tutte le Memorie esposte dal Ministero dei Lavori Pubblici alla Mostra Nazionale di Palermo 1891-92.

## CAPITOLO I.

Cenno storico intorno ai diversi metodi  
di consolidamento dei terreni franosi.

Prima di discutere l'importante argomento, riuscirà opportuna una rapida e breve rassegna storica di questa importante parte della scienza del costruttore.

Il primo che abbia studiato e proposto mezzi per impedire gli scoscendimenti delle terre, pare sia stato il generale francese *Vauban* nel 1687 (2).

Egli infatti, per impedire gli scoscendimenti, propose dei ritegni in muratura, il cui profilo venne distribuito ufficialmente nelle fortezze militari, ed iniziò così la teoria della spinta delle terre contro questi ritegni.

Dopo di lui, molti ingegneri si occuparono di questa teoria, seguendo criteri diversi, ma basandosi sul principio

(1) A dare un'idea dell'importanza dei lavori di consolidamento eseguiti per la ferrovia Palermo-Corleone basterà il seguente breve cenno:

La ferrovia Palermo-Corleone di 4° tipo economico ha lo scartamento di m. 0,95, si svolge con curve di raggio minimo di m. 70 e con pendenze variabili che arrivano al 39 0/00. La sua lunghezza è di km. 68 circa ed il tracciato attraversa molte località con terreni franosi, quantunque per evitarli siano state introdotte, nel progetto approvato, all'atto dell'esecuzione non poche varianti ed abbandonati anche, in seguito alle frane sviluppatesi, tratti già costruiti.

L'intera linea fu aperta all'esercizio nel dicembre dell'anno 1886. Ma per nuovi e molteplici franamenti causati dalle piogge torrenziali di quell'inverno, la linea restò interrotta in vari punti, ed in seguito ad altri disastri, avvenuti principalmente il 13 e 18 febbraio 1887, fu da questo giorno in poi chiuso in tutta la linea l'esercizio. Fu poi definitivamente riaperto il 27 dicembre dello stesso anno, dopo che furono eseguite tutte quelle opere di restauro e di definitivo consolidamento, e quei provvedimenti intorno al materiale fisso ed al materiale mobile che con Decreto del 19 settembre 1887 furono prescritti dal Ministero dei Lavori Pubblici al Consorzio concessionario.

Prima di riaprire la linea all'esercizio occorsero importantissimi lavori di consolidamento in 38 punti della medesima.

Altre opere di consolidamento da eseguirsi nel corso dell'esercizio furono previsti in altri 134 punti e la maggior parte di esse sono state già eseguite.

(2) VAUBAN, *Traité de l'attaque et de la défense des places.*

del prisma di massima spinta, e basta menzionare *Bellidor*, *Coulomb*, *Poncelet*, *Scheffler*, *Saint-Guilhem*, *Culmann*, *Curioni*, *Curie*.

Recentemente però il *Winkler* (1) dimostrò la erroneità di questa teoria, formulò il principio che « la spinta delle » terre è provocata dal prisma, che possiede la minima resistenza allo scorrimento », e gettò quindi le fondamenta ad una nuova teoria, che in modo analogo fu svolta da *Rankine*, *Lévy*, *Considere* e *Mohr*.

*Weyrauch* anche recentemente rese pubblica un'altra teoria, che forma, per così dire, l'anello di congiunzione fra l'antica e la nuova, basata sopra una sola ipotesi, comune del resto a tutte le altre teorie antiche e moderne, cioè: che tutte le forze agenti sopra un piano nell'interno di un terrapieno hanno la stessa direzione per tutti gli elementi del piano.

Tutti questi autori tennero conto nella determinazione delle condizioni di equilibrio di una massa di terra: della coesione, della resistenza di attrito e dell'influenza della gravità; facendo però astrazione delle circostanze che possono modificare l'azione delle due prime forze.

Ma i fenomeni di movimento di enormi masse di terra, specialmente argillosa, verificatisi in seguito all'apertura di trincee, ed alla formazione di rilevati stradali, che non trovano completo riscontro nella più razionale teoria della spinta delle terre, preoccuparono illustri ingegneri, i quali si proposero di rintracciare le cause di questi movimenti e di escogitare i rimedi più adatti per arrestarli.

*Collin* (2) fu il primo che in Francia studiò i fenomeni dello scorrimento spontaneo dei terreni argillosi, ed in una dotta Memoria ha riassunto le sue ricerche sperimentali al riguardo.

Egli ammette in massima che quei terreni si trovino in istato di equilibrio instabile, e quindi abbiano una iniziale predisposizione allo scorrimento, il quale si sviluppa maggiormente non appena il primitivo stato di equilibrio viene turbato dallo scavo; ed escludendo, salvo casi eccezionali, la presenza di superficie lisce, ascrive la causa del movimento delle masse argillose alla sola azione del loro peso, ossia della gravità.

*Chaperon* (3) condivide l'opinione del *Collin* sull'equilibrio instabile delle masse argillose, ma opina che lo scorrimento sia dovuto all'azione delle acque di filtrazione, che determina in una massa, già per sua natura instabile, una diminuzione di coesione.

*Sazilly* (4) invece, senza escogitare l'ipotesi di uno stato di equilibrio instabile, ritiene che i fenomeni di scorrimento siano dovuti all'azione delle acque sotterranee, che rammoliscono le terre in modo da far perdere loro ogni coesione; e degli agenti atmosferici sulle marne argillose, che le alterano in modo sensibile.

*Bruère* (5), discepolo del *Sazilly*, nel suo importante trattato: *Consolidation des talus*, sviluppò in modo più razionale e completo la teoria del suo maestro; e, confortando di numerosi esempi pratici i fenomeni del movimento delle terre da lui constatati tanto nei rilevati quanto nelle trincee, deduce, per ogni singolo caso che nella pratica può verificarsi, il più opportuno sistema di consolidamento.

I metodi proposti dal *Bruère* hanno avuto larghissima applicazione, con lievi modificazioni richieste dalle condizioni delle località, nel consolidamento dei terreni franosi, ed hanno quasi dappertutto fatto ottima riuscita; quindi a lui spetta principalmente il merito di avere dato a questa importante parte della scienza un razionale indirizzo.

I suoi processi principalmente consistono in prosciugamenti, rivestimenti e seminagioni delle scarpe secondo norme consimili a quelle date dal *Sazilly*, e nei contrafforti di terra pigiata per resistere alle spinte dei terreni deteriorati ed in movimento.

*Oliveri* (1), in Italia, ha preso in disamina gli accennati processi del *Bruère*, ed in un pregevolissimo trattato li ha esposti e confrontati coi sistemi adottati in Sicilia.

Egli rileva al *Bruère* il torto di volere generalizzare i suoi metodi a tutti i casi di scorrimento e di escludere e combattere con molta passione le fognature, che ammette per eccezione e con restrizione nel solo caso di terreni compressibili sotto il peso di un riporto.

Esponendo quindi i mezzi di consolidamento adottati in Sicilia, dove si presentarono casi analoghi a quelli delle ferrovie dell'Est della Francia, ma di maggiore entità; e mentre conferma il risultato felice dei metodi del *Bruère*, specialmente, sebbene in casi speciali, dei contrafforti in terra pigiata, fa notare lo splendido successo dei prosciugamenti eseguiti in larga scala nelle ferrovie siciliane con fognature, che preferisce quindi ai contrafforti accennati.

« Un gran passo, egli dice, fu fatto dal signor *Bruère*, » ma non corrispose completamente alla maggiore gravità » dei casi, come pur troppo si presenta. Io credo piuttosto » che dall'esperienza dei consolidamenti eseguiti in Sicilia » si possa trarre un vero tesoro di cognizioni da servire di » scorta per l'avvenire. Ritenute le circostanze speciali di » località qui più gravi che non nel campo delle operazioni » del signor *Bruère*, come pure le condizioni generali dei » movimenti di terra superiori per entità di massa e di superficie scoperte, sotto tale aspetto verrebbe, in certo » modo, ad essere giustificato il signor *Bruère* nelle conclusioni a cui arriva, ma non per ciò si rende meno » manifesta l'importanza di una ispezione ragionata sui sistemi » applicati in relazione alle condizioni di località e masse » scoperte come quelle in Sicilia.

« Ora per porgere al lettore una chiara nozione dello » stato delle cose, per sempre persuaderlo sulla scelta ed » adeguata proporzione, e modo di applicazione dei mezzi » descritti, per agevolargli quindi l'esame comparativo ed » il trattamento di altri casi simili, e chiarirlo pure sull' » entità della spesa che importano quella sorta di lavori, » ben vedo che sarebbe necessario avvalorare le asserzioni » e conclusioni secondo i casi colla scorta di progetti ben » riusciti, riportando insieme l'ammontare della relativa » spesa di impianto. Ma a ciò potrebbe sopperire soltanto » la Direzione locale dei lavori ferroviari di Sicilia con » opportuna scelta e pubblicazione dei progetti che nei diversi tronchi hanno meglio corrisposto alle aspettative » sotto tutti i rapporti ».

Tale lacuna è stata in gran parte colmata con due pregevoli pubblicazioni:

la 1<sup>a</sup> della Direzione tecnica della ferrovia ligure (2) nella quale furono eseguiti importantissimi lavori di consolidamento;

(1) WINKLER, *Neue theorie des Erddruckes*.

(2) COLLIN, *Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argilleux*. — Paris, 1846.

(3) *Annales des ponts et chaussées*.

(4) SAZILLY, *Annales des ponts et chaussées*. — Paris, 1851.

(5) BRUÈRE, *Consolidation des talus*. — Paris, 1862.

(1) OLIVERI, *Mezzi di consolidamento praticati nelle terre argillose della Sicilia*. — Torino, Tip. Camilla e Bertolero, 1877.

(2) Opere di consolidamento e di fognatura per l'attraversamento dei terreni franosi nella costruzione della ferrovia del litorale ligure. — *Giornale del Genio civile*, parte non ufficiale, 1880.

la 2<sup>a</sup> del comm. ing. *Adolfo Billia*, direttore tecnico a Caltanissetta, contenente l'esposizione delle opere di consolidamento eseguite sulle ferrovie Catania-Licata e Palermo-Porto Empedocle (1).

#### CAPITOLO II.

**Cenni sulle cause perturbatrici dell'equilibrio dei terreni che ordinariamente si attraversano colle costruzioni stradali, sull'origine e forma degli scoscendimenti nelle scarpate delle trincee e dei rilevati.**

La teoria del *Sazilly*, che trova la ragione esclusiva dei fenomeni di scorrimento nelle influenze atmosferiche e nell'azione delle acque sotterranee, fu favorevolmente accolta da tutti i costruttori; non sarà quindi fuor di luogo, seguendo le idee da lui e da altri illustri ingegneri manifestate, esporre sommariamente le cause che perturbano l'equilibrio dei terreni, e gli effetti che ne derivano.

I progressi della moderna geologia hanno accertato il modo di formazione delle varie rocce (eruttive, stratificate o sedimentarie, metamorfiche, caotiche), dei monti e delle valli, sotto l'influenza di due gruppi di forze: le une agenti dall'interno verso l'esterno, le altre agenti esternamente.

Fra le forze agenti esternamente occupa il primo posto l'acqua, che è l'elemento più attivo e distruttore della natura.

L'acqua che cade sotto forma di neve o di pioggia, tende a guadagnare il punto più basso, cioè prende la via del mare; e per raggiungerlo parte scorre direttamente sulla superficie formando i fiumi, i torrenti, i ruscelli, sconvolgendo, trasportando e corrodendo le rocce aiutata nel suo lavoro dagli agenti atmosferici; parte internandosi per le fenditure, nei pori delle rocce, o filtrando attraverso i terreni permeabili penetra nell'interno della terra, incontra gli strati impermeabili, e quindi si convoglia sotterraneamente, allargando sempre più il suo canale, sia per la propria attività meccanica, sia per l'attività chimica di penetrare, sciogliere ed alterare tutte le rocce.

Lo strato impermeabile, sulla cui superficie vengono a raccogliersi le acque, generalmente si presenta variabilissimo, perchè diverse cause geologiche dovettero influire a renderlo più o meno sinuoso, a costituire ripiegature più o meno profonde: e le acque, che tendono sempre a raggiungere il punto più basso, vengono a convogliarsi nelle parti depresse dove trovano più facilità di scolo.

Se facciamo infatti una sezione attraverso lo strato acquifero, la superficie impermeabile ci presenterà una linea a grandi e piccole ripiegature e sarà dove concava e dove convessa; qui si rialzerà, là si deprimerà notevolmente.

Nelle parti più depresse avremo le linee di pendacqua, e nelle parti più salienti le linee di spartiacqua: un sistema idrografico del tutto simile a quello superficiale.

(1) *Giornale del Genio civile*, parte non ufficiale, 1883.

Nota. Sulle opere di consolidamento eseguite nelle ferrovie italiane sono state pubblicate le seguenti altre dotte Memorie che contengono tutte la descrizione di lavori già eseguiti che hanno dato buoni risultati:

PESSO LUIGI, *Opere di fognatura per arrestare il movimento di una zona di terreno nella campagna Corona nel tronco ferroviario Leonforte-Villarosa in Sicilia*. — *Giornale del Genio civile*, parte non ufficiale, 1875.

BILLIA ADOLFO, *Lavori di consolidamento della ferrovia del Jonio nella traversata dei terreni franosi di Torrevicchia*. — *Idem*, 1876.

PESSO LUIGI, *Cenni sul tronco di ferrovia da Leonforte a Villarosa in Sicilia, sulla natura dei terreni attraversati, sulla causa delle frane dei rilevati e trincee e sui sistemi di consolidamento stati adottati*. — *L'Ingegneria civile e le Arti industriali*, 1876.

CROCI AUGUSTO, *Sui lavori di consolidamento eseguiti, per la traversata del vallone Paradiso al chilometro 136 + 150 e del burrone Grottarossa al chilometro 137 + 700 della ferrovia Catania-Licata*. — *Idem*, 1886.

Nell'interno della terra l'acqua quindi produce sui terreni gli stessi fenomeni cui dà luogo alla superficie, cioè: diminuisce la coesione delle rocce e delle terre; dilava le parti solubili degli strati attraversati e le deposita come fanghiglia in luoghi più bassi, spesso in screpolature di solidi massi rocciosi; rammollisce la superficie delle masse impermeabili e la rende lubrica.

I terreni dunque, in relazione al loro modo di comportarsi in presenza dell'acqua, si possono dividere in due grandi categorie:

*Terreni impermeabili* quelli che impediscono la infiltrazione delle acque. Tali sarebbero i terreni costituiti da argilla compatta o da calcari compatti, senza veruna specie di crepacci e fenditure.

*Terreni permeabili* quelli che lasciano penetrare l'acqua piovana nel sottosuolo. Tali sarebbero i terreni in cui predominano le sabbie dette comunemente mobili o bollenti; quelli costituiti di tufi calcari del terziario e del quaternario; ed in generale i terreni argillosi, di riporto e di alluvione.

Questi ultimi terreni, come è noto, si sono formati per effetto della decomposizione delle rocce che costituiscono i monti, ed i materiali provenienti da tale decomposizione sono stati trasportati e depositati dalle acque in vario modo, sia nelle pendici dei monti stessi formando colline ed avvallamenti più o meno irregolari, sia nelle valli.

I più importanti componenti dei terreni permeabili sono: l'argilla e le sue varietà dette marne, i tufi, i gessi, la sabbia, il limo, l'*humus* e le torbe.

L'argilla, di cui sono note le proprietà caratteristiche e specialmente quelle di assorbire l'acqua, di gonfiarsi, di lasciarsi rammollire e rendere scorrevole, a motivo della frequenza con cui si presenta e del suo comportarsi rispetto alle influenze esterne, occupa il primo posto nelle nostre considerazioni.

L'argilla, sotto forma di particelle di colore oscuro collegate da una sostanza grassa e ricca di sali deliquescenti, costituisce il terreno argilloso, comunemente chiamato di alluvione, che ricopre la superficie delle falde, ed il fondo delle valli.

Questo terreno assorbe avidamente l'acqua e si lascia stemperare in fango.

Talvolta essa si presenta sotto forma di terra sconvolta e mista con più o meno trovanti di pietra, ovvero rimaneggiata con sabbia od alternata con nocciuoli calcari. Anche sotto questa forma è permeabile, plastica ed attraversata da superficie liscie, per le quali penetrano le acque di filtrazione.

In altri terreni l'argilla ha i caratteri precedenti, ma non ha pronunciato il carattere rimaneggiato e sconvolto.

L'argilla, propriamente detta, col calcare, in proporzioni variabilissime, forma le varietà dette marne, che prendono il nome di marne calcari od argillose a seconda la maggiore o minore quantità di calce che contengono.

Le marne argillose quando non sono degenerate e non contengono sali deliquescenti danno buoni risultati nelle costruzioni stradali; ma sono eminentemente suscettibili di deterioramento se soggette alle filtrazioni dei terreni permeabili che sovrastano ad esse.

In generale le marne, specialmente quelle delle formazioni terziarie, contengono sali deliquescenti che le rendono sensibili all'azione dell'umidità atmosferica, del gelo e del disgelo.

Talvolta le marne argillose si incontrano degenerate fino a grandissime profondità e presentano la nota forma scagliosa; messe allo scoperto cominciano a gonfiarsi ed a

staccarsi nella separazione delle scaglie, esercitando potenti spinte in tutti i sensi.

Le marne calcari invece sono generalmente compatte, stratificate e raramente s'incontrano in istato di decomposizione.

I terreni permeabili quindi per loro natura, in qualunque modo si presentino, in massa compatta o in sottili strati o in riempimento di crepacci o in gruppi fra rocce solide, costituiscono il campo favorevole degli scoscendimenti.

Gli scoscendimenti in genere sono soggetti alla influenza di tre forze: la gravità, la coesione e l'attrito.

La prima tende a provocare il movimento, le altre due oppongono la loro resistenza.

Nell'uguaglianza di questi due gruppi di forze sussiste l'equilibrio, che viene turbato, quando prevale il primo gruppo sul secondo.

I terreni rocciosi talvolta sono formati di grandi masse compatte di forte potenza, ma attraversate da numerose fenditure prodotte dall'azione sia delle forze interne che delle forze esterne, le quali forze continuando ad agire ne modificano sensibilmente la coesione e predispongono i terreni stessi a grandi ed improvvisi distacchi: in questo caso l'acqua penetrando per le fenditure ha contribuito a decomporre la massa, ma non è la causa principale del movimento o del distacco che avviene per il predominio della gravità.

Talvolta invece gli anzidetti terreni sono formati da strati più o meno potenti e di maggiore o minore consistenza fra di loro sovrapposti. L'acqua penetrando attraverso le fessure viene assorbita dagli strati meno resistenti che a poco a poco finiscono per perdere la loro coesione. Il rammollimento di questi strati, specialmente quando la loro giacitura non è orizzontale ma inclinata, diminuisce l'attrito e fa prevalere la gravità che provoca quindi il movimento delle masse superiori sul loro letto di posa, dapprima lentamente, a poco a poco più rapidamente, e spesso infine con grande velocità.

A queste due forme di scoscendimento si è dato il nome di *frane di rocce*.

I terreni costituiti da masse disaggregate e decomposte, i quali coprono le pendici dei monti e le valli, assorbono l'acqua piovana che filtra attraverso di essi, e che ricompare più in basso sotto forma di sorgente; ma spesso i medesimi si imbevono talmente, che, sensibilmente diminuita per ciò la coesione, ne deriva il movimento dell'intera massa, talvolta esteso per considerevole lunghezza.

A questa forma di scoscendimento si è dato il nome di *frane di monte*, le quali, nelle origini e nelle forme dei fenomeni, mostrano molte analogie con quelle promosse da cause artificiali.

Queste frane di monte si possono verificare in tre principali modi:

a) Talvolta una massa di terra si muove lentamente, spesso è in equilibrio instabile e basta la più piccola azione esterna per determinare il movimento.

Questa condizione di cose, che ordinariamente si verifica nelle argille e nelle marne rimaneggiate e salate, ritrae origine da antichi sconvolgimenti geologici, che hanno metamorfizzato tali rocce, e dai continui assorbimenti d'acqua.

b) Talvolta invece il terreno sovrastante alle pendici dei monti scende in massa più o meno estesa sopra una superficie detta di scorrimento, la quale ordinariamente ha la forma concava molto ripida nella parte superiore e molto dolcemente inclinata nella parte inferiore. Questa specie di movimento ha luogo essenzialmente pel fatto che dagli agenti atmosferici viene distrutta la coesione delle parti

componenti la massa e quindi si producono in questa distacchi per effetto dell'azione della gravità, i quali distacchi dispongono poi le terre in una nuova posizione di equilibrio.

c) Talvolta, infine, una massa, sia o non sia costituita a strati, si muove sopra una superficie piana, detta anche essa di scorrimento, la quale può essere preesistente o formata per effetto del movimento stesso.

Nei terreni stratificati, specialmente in quelli dove esistono strati argillosi inclinati di diversa consistenza, lo scorrimento, che avviene sopra analoghi piani già preesistenti, è prodotto dalle acque sotterranee, che distruggono l'attrito e rendono lubrico lo strato argilloso.

Nei terreni permeabili in generale le acque da essi raccolte raggiungono l'argilla impermeabile, formando quivi il letto acquifero, il quale, rendendo lubrica la superficie, distrugge l'attrito e dà luogo al movimento.

Nei terreni eminentemente argillosi la formazione del piano di scorrimento avviene invece per effetto del passaggio della massa dallo stato di riposo a quello di moto, causato dalla diminuzione di coesione nello strato superiore.

Fin qui abbiamo considerato le masse rocciose e terrose nelle loro naturali condizioni di giacitura, supponendo che i probabili movimenti siano unicamente causati da forze anch'esse naturali, che tendono a disturbare il loro stato d'equilibrio; e soltanto abbiamo accennato che talvolta forze artificiali possono produrre i medesimi effetti.

Nelle costruzioni stradali, infatti, non può costantemente seguirsi l'andamento altimetrico del terreno, ma è necessario predisporre la sede della strada rotabile o ferrata colle minori e più piccole livellette possibili; quindi quando occorrerà scavare il terreno ed aprire una trincea; là sarà necessario rialzarlo mediante un riporto.

Devonsi dunque necessariamente modificare le condizioni naturali di giacitura delle terre con mezzi artificiali. Queste modificazioni, alla stessa guisa delle forze naturali, evidentemente tendono a disturbare il loro equilibrio.

Il costruttore accorto cerca di ridurre questi movimenti di terra al minimo possibile, ma non sempre ciò gli è consentito; anzi, talvolta, specialmente nelle costruzioni ferroviarie, è costretto ad aprire profonde trincee ed a stabilire alti rialzi.

In questi casi egli evita di attraversare i terreni franosi facilmente riconoscibili, ma esigenze speciali spesso conducono ivi il tracciato e deve quindi affrontarli.

I terreni che più preoccupano il costruttore nell'apertura delle trincee e nella formazione dei rilevati sono gli argillosi, perchè il loro equilibrio, spesso instabile, viene seriamente disturbato dagli accennati lavori, i quali provocano franamenti, del tutto simili a quelli prodotti dalle forze naturali.

Qui appresso quindi distinguiamo i principali casi di franamenti che nella pratica si verificano, indicando le cause peculiari che li provocano in dipendenza degli accennati lavori.

#### TRINCEE.

1° *Scoscendimenti superficiali o distacchi di piccole parti che scorrono alla superficie di una o di entrambe le scarpate delle trincee.* — Le scarpate argillose messe allo scoperto vengono esposte alle influenze e vicende atmosferiche, alle acque pluviali, alla neve, al gelo e disgelo; l'argilla quindi comincia a deteriorarsi, e come primo effetto si produce la disaggregazione della superficie della scarpata, che si propaga a poco a poco nell'interno della massa, distruggendo la coesione e provocando smottamenti e distacchi, ai quali, fino a quando si estendono per lo spessore

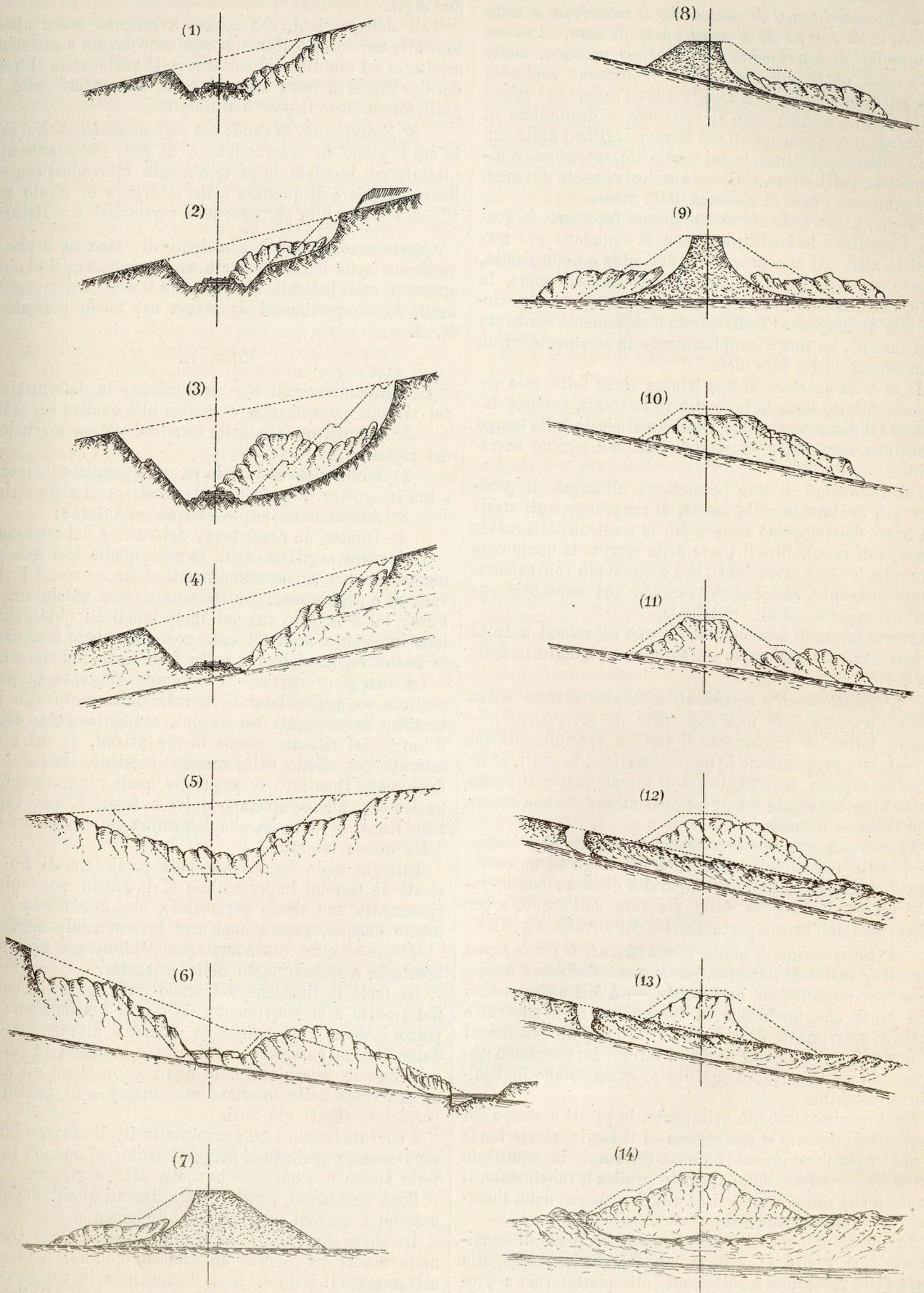


Fig. 62-75. — Casi di scoscendimenti nelle scarpate delle trincee e dei rilevati.

di m. 3 circa, si è dato il nome di *scoscendimenti superficiali* (fig. 1, pag. 133).

2° *Scoscendimenti di massa che si estendono a tutta l'altezza della scarpa od a gran parte di essa, ed in cui la superficie di scorrimento è d'ordinario concava, molto ripida nella parte superiore, e molto dolcemente inclinata nella parte inferiore.* — L'argilla sotto l'azione del calore e della siccità, come è noto, si restringe e diminuisce di volume: si producono quindi nei terreni argillosi delle fenditure e delle spaccature, la cui regolarità, estensione e direzione è variabilissima, e dipende esclusivamente dal maggiore o minore grado di coesione della massa.

L'acqua, penetrando attraverso queste fenditure, fa gonfiare l'argilla, e le fenditure stesse si chiudono per riaprirsi in altri siti al sopravvenire del caldo e della siccità, creando così altri nuovi e numerosi accessi all'acqua, la quale, racchiusa nella massa terrosa, a poco a poco la scioglie e la decompone. Finchè questa è saldamente sostenuta tutta intorno, ha luogo semplicemente un alzamento od un abbassamento della superficie.

Ma se colla apertura di una trincea viene tolta tale resistenza, allora, secondo le fenditure esistenti, avviene facilmente il distacco, il quale comincia al ciglio della scarpa e continua avanzandosi a poco a poco nel terreno sovrastante.

Tali condizioni di cose permettono all'acqua di penetrare più facilmente nella massa, di raggiungere gli strati più bassi, distruggendo sempre più la coesione della massa stessa, e di rammollire il piede della scarpa, la quale cosa avvenuta, le terre sovrastanti, non essendo più convenientemente sostenute, scoscendono secondo una superficie che molto si approssima alla cicloidale.

Questa forma di scoscendimento può estendersi a tutta la scarpata o ad una parte soltanto, come è indicato nelle fig. 2 e 3.

3° *Smottamenti o movimenti di masse motose senza che sia riconoscibile una superficie di scorrimento.* — Questa forma di franamento si verifica specialmente nei terreni dove predominano le marne scagliose, le quali, come abbiamo esposto, sono costituite di piccole masse di forma lenticolare, aggregate fra di loro per mezzo di una superficie liscia ed untuosa.

Appena scoperte esse cominciano a gonfiare ed a distaccarsi nelle unioni delle scaglie, danno luogo ad un movimento generale che potrà propagarsi a distanza considerevole indipendentemente dalla presenza dell'acqua, e per effetto solo dell'azione perturbatrice dello scavo (fig. 5).

4° *Scorrimento di masse o scorrimenti di fondo sopra superficie inclinate naturali, per le quali l'attrito è troppo tenue per impedire un movimento.* — Abbiamo accennato alle cause che producono la formazione delle superficie lisce di scorrimento ed abbiamo visto in quali condizioni le medesime si formano, e come i terreni dove esistono abbiano già perduto il loro equilibrio, ovvero siano in equilibrio instabile.

Se il movimento è già sviluppato, le pareti a scarpa del taglio difficilmente si sostengono ed il taglio stesso tende a restringersi; se invece la massa terrosa è in equilibrio instabile per effetto dello scavo, si esplica il movimento, il quale, a sua volta, contribuisce alla formazione della superficie liscia di scorrimento.

In questi movimenti detti di massa il piano di scorrimento può essere ad altezza variabile della scarpa, alla base della medesima o sottostante alla piattaforma a profondità più o meno grande nel modo rappresentato dalle fig. 4 e 6.

5° *Sollevamento di fondo.* — Si è osservato dopo l'a-

pertura di qualche profonda trincea il sollevamento del piano di piattaforma ed il conseguente abbassamento dei due cigli.

Tali deformazioni, che spesso avvengono senza alcun sensibile movimento di traslazione, sono dovute a soverchia scioltezza ed umidità del sottosuolo, il quale, sotto il peso dei due massi di terra laterali, cede, rialzandosi sotto la piattaforma, dove il peso è diminuito.

6° *Scorrimento di fondo con sollevamento.* — Nei casi in cui il piano di scorrimento è di poco sottostante alla piattaforma stradale, la parte a monte movendosi con velocità maggiore di quella a valle, costringe lo strato sottile sottostante alla piattaforma a rigonfiarsi e sollevarsi.

Queste sono le varietà principali di franamenti che si verificano nelle trincee scavate nei terreni argillosi; ma spesso i casi indicati ai N. 4, 5 e 6 sono accompagnati anche da scoscendimenti di massa nel modo indicato al N. 2.

#### RILEVATI.

Le cause principali che determinano la deformazione dei rilevati possono essere ridotte alle quattro seguenti:

1° Cattiva qualità delle terre e difettosa esecuzione del riporto;

2° Inclinazione del suolo su cui è poggiato il riporto, e sua irregolare disposizione planimetrica ed altimetrica;

3° Azioni delle acque esterne ed interne;

4° Difetto di consistenza del suolo e del sottosuolo.

La natura argillosa delle terre è quella che generalmente provoca gli scoscendimenti delle scarpe dei rilevati, ed è perciò savia pratica proscrivere assolutamente l'uso; talvolta però ragioni imprescindibili obbligano il loro impiego, ma in tal caso non dovrebbero trascurarsi le buone regole dell'arte nella formazione dei riporti.

La maggiore coesione che sempre presenta la parte centrale su quelle laterali, dovuta unicamente alla formazione dei rilevati coi vagoni, ordinariamente divide il corpo del rilevato stesso in tre prismi, di cui i due laterali, per effetto della minore coesione, lasciano più facilmente penetrare le acque, le quali raggiungendo il nucleo centrale cominciano quivi a formare una superficie liscia ed untuosa, che determina lo scoscendimento delle masse laterali.

Talvolta nella formazione delle parti laterali fra due strati di terreno impermeabile si intercala poco giudiziosamente uno strato permeabile, che, assorbendo facilmente l'acqua, genera anch'esso lo scoscendimento.

Queste ed altre cause analoghe determinano ordinariamente lo scoscendimento delle scarpate.

La forte inclinazione del suolo predispose la massa del riporto allo scorrimento, sia perchè funziona come un piano inclinato, sia perchè le differenti altezze verticali delle diverse parti che costituiscono la massa producono nel rassetto screpolature, le quali permettono all'acqua di penetrare nello interno della massa e di produrvi i perniciosi effetti già noti.

I rilevati troppo alti, anche costituiti di materie buone, sono sempre pericolosi, maggiormente poi quando le materie stesse o sono poco buone o sono argillose.

Sono parimente soggetti a franamenti quelli che attraversano i burroni ed i rivi obliquamente.

Le acque superficiali che si raccolgono a monte trovano nella massa del riporto un ostacolo e quindi tendono ad attraversare il letto di posa, diminuendo la resistenza di attrito e la coesione, tanto da provocare spesso il distacco, la deformazione ed il trasporto in massa del rilevato a valle.

Talvolta in un terreno con superficie di scorrimento pree-

sistente, provocata dall'azione delle acque interne, anzichè aprire una trincea è necessario stabilire un rilevato. È facile comprendere che il maggior peso, di cui viene gravato quel terreno, deve necessariamente peggiorare le sue condizioni di stabilità, e quindi provocare un movimento di tutta la massa, compreso il riporto, sopra la superficie liscia di scorrimento sottostante al piano di posa.

Tale movimento poi è reso più o meno sensibile dalle condizioni della campagna, disposta a sinuosità raccogli-trice di acque esterne ed interne, dalla presenza di ristagni d'acqua, dalle corrosioni delle correnti, dall'inclinazione più o meno ripida delle falde, ecc.

Nei terreni disposti a forte pendio talvolta lo scorrimento del sottosuolo non si estende a tutto il piano di posa del rilevato, ma ad una parte soltanto verso valle; il movimento distacca quindi una massa più o meno grande del riporto e la fa scoscendere.

Infine accade di costruire il riporto sopra terreni compressibili, come, per esempio, l'alluvionale, il torboso e simili, i quali per effetto della pressione cominciano a poco a poco a cedere, sia uniformemente sia irregolarmente.

In tali casi il rilevato si sprofonda lentamente, deformandosi nel suo profilo, mentre il terreno che sta al piede delle scarpate a monte e a valle si rialza.

Dalla breve esposizione fatta delle cause principali che determinano i guasti dei rilevati, possiamo dedurre i casi che più frequentemente si verificano nella pratica, i quali sono i seguenti:

1° Scoscendimenti superficiali e smottamenti delle scarpate;

2° Scoscendimento di massa in una scarpata od in tutte e due secondo una superficie concava, che si approssima alla cicloidale, in terreno pianeggiante o disposto in pendio (fig. 7, 8, 9);

3° Scorrimento di massa dell'intero riporto sul piano naturale di formazione con o senza scoscendimento di massa delle scarpate (fig. 10, 11);

4° Scorrimenti di sottosuolo sopra superficie lisce con o senza scoscendimento di massa delle scarpate (fig. 12 e 13);

5° Affondamento della massa del riporto per cedimento del suolo (fig. 14).

(Continua).

## IDRAULICA PRATICA

### ANCORA UNA FORMOLA

#### PEL MOTO DELL'ACQUA NEI TUBI.

Un valente idraulico francese, il signor Flamant, prendendo in esame le numerose esperienze raccolte sin qui sul deflusso dell'acqua nei tubi di condotta, e specialmente le eseguite posteriormente all'epoca di Darcy (1857) (\*), delle quali parecchie si aggirarono su tubi di dimensioni molto più notevoli delle sperimentate da quest'ultimo, sia pei diametri che per le lunghezze, riconosceva non ha guari l'insufficienza delle formole sin qui stabilite e quindi la necessità di proporre una nuova, sulla quale gl'idraulici potessero basare i loro calcoli senza timore di riuscire a risultati troppo lontani dal vero.

Per meglio fissare in che consista principalmente la differenza fra la formola proposta dal Flamant e le altre, gioverà qui richiamar brevemente alla memoria del lettore i criteri che sogliono guidare gl'idraulici in ricerche di simil genere.

Suppongasì data una tubulatura a sezione costante, ad asse rettilineo e di lunghezza indefinita, entro la quale scorra il liquido. Stabilito che siasi il movimento uniforme (senza

dare all'aggettivo il significato assolutamente rigoroso che ha in meccanica), si incomincia ad isolare mentalmente un tronco retto di tubulatura di lunghezza uguale all'unità, e si osserva che la risultante delle forze sospingenti innanzi il cilindro liquido contenutovi dev'essere uguale in qualunque istante alla resistenza d'attrito opposta dalle pareti, giacchè qui non v'ha a considerare accelerazione di sorta. Ora è agevole vedere che la prima è data da una pressione corrispondente al peso d'una colonna liquida, che ha per base la sezione del tubo e per altezza la *perdita di carico* o differenza fra i livelli piezometrici verificantisi nelle sezioni estreme del considerato tronco. Se fosse esatto poi supporre tutte le molecole liquide animate da una stessa velocità, siccome la resistenza di attrito deve essere proporzionale alla superficie bagnata e ad una certa funzione della velocità, noi potremmo, nell'ipotesi di una sezione circolare, stabilire l'eguaglianza:

$$(1) \quad \pi R^2 i = 2 \pi R f(U) \times l$$

nella quale rappresentano:

$R$  = il raggio del tubo,

$i$  = la perdita di carico fra le due sezioni distanti  $l$ ,

$U$  = la velocità delle particelle componenti la corrente liquida.

Dalla precedente equazione si ricava:

$$R i = 2 f(U).$$

Se ammettiamo, come parte la teoria e parte gli esperimenti inducono ad ammettere, che la funzione  $f(U)$  sia della forma  $b_1 U^2$  (ciò che del resto possiamo sempre fare, purchè a  $b_1$  sia dato per ciascun caso un conveniente valore), potremo adunque scrivere:

$$(2) \quad \frac{R i}{U^2} = 2 b_1$$

dove  $b_1$  è un coefficiente numerico incognito.

Stabilita così in qualche modo la forma che assumerà la relazione collegante le tre variabili,  $i$ ,  $U$  ed  $R$  in un tubo di data natura, si può procedere ad indagare, dietro la scorta degli esperimenti, se e quale funzione delle altre quantità sia il coefficiente  $b_1$ .

Dalle quantità da cui  $b_1$  può dipendere, pare doversi escludere la pressione assoluta avente luogo nelle vicinanze del tronco considerato, giacchè le esperienze non ci autorizzano ancora bastantemente a ritenere il contrario (\*). Del resto, sebbene questo si verificasse, l'influenza della pressione (in ogni caso molto piccola) viene in pratica mascherata da altre più forti cause accidentali di alterazioni, quali sono la non perfetta calibratura dei tubi, l'incostante rugosità delle pareti variabile, si può dire, da un campione all'altro, ecc., di guisa che ordinariamente non è dato di riconoscerla affatto. Resta dunque che  $b_1$  sia funzione di  $i$ ,  $U$  ed  $R$ . Però, ammesso che una di queste quantità, per esempio  $i$ , si possa eliminare esprimendola in funzione delle altre due, potremo porre con bastante generalità:

$$b_1 = \phi(R, U).$$

La forma della funzione indicata dal simbolo  $\phi$  e le costanti che includerà, è quanto trattasi di determinare. E qui incominciano le disparità d'opinioni.

Convenuto di prendere per  $U$  la velocità *media*, ovvero il quoziente che risulta dividendo la *portata* del tubo per l'area della sezione, le antiche formole proposte da Prony, da d'Aubuisson, da Weisbach e da altri, risultano a questo, che  $b_1$  è indipendente da  $R$ , anzi anche dal grado di scabrosità delle pareti del tubo, ma solo dipende da  $U$  (\*\*). Se non che Darcy fece rilevare; mediante le sue accuratissime esperienze, la grossolana inesattezza di tali conclusioni, anzi per tubi a pareti scabre dedusse che  $b_1$  può riguardarsi come indipendente da

(\*) Cfr. DARCY, *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux*, pag. 84 e segg. Esperienze recenti (Vodicka) indicherebbero qualche influenza della pressione; ma la cosa non pare ancor messa bene in chiaro.

(\*\*) Pei calcoli pratici e per velocità non piccolissime, Prony propose di riguardare  $b_1$  come una costante assoluta (Cfr. DARCY, *Recherches*, pag. 8). Lo stesso partito fu abbracciato poi da Dupuit.

(\*) Esse sono principalmente quelle di Lampe (1873), di Smith (1877), di Darrach (1878), di Ehmann e di Iben (1880 circa), di Brush (1887), di Humblot (1888), di Meunier (1889), e di altri ancora.

U, ossia propose semplicemente la  $b_1 = \phi(R)$ . A tale parere accedette, sebbene cambiando la forma della funzione  $\phi$ , M. Levy, il quale di più lo giudicò estensibile anche a tubi con pareti lisce, il che da Darcy era stato riputato vero solo approssimativamente (\*). Frank altresì propose una equazione in cui dalla  $\phi$  è esclusa la U. Altri invece, come Hagen, crederono doversi ritenere  $b_1$  funzione tanto di R che di U (\*\*), e della stessa opinione è appunto il Flamant. L'espressione da quest'ultimo presentata per  $b_1$  è pertanto la seguente:

$$b_1 = \frac{a}{\sqrt[4]{DU}}$$

dove D è il diametro del tubo ed  $a$  una costante dipendente solo dal grado di levigatezza delle pareti, e si avrebbe:

$a = 0.000185$  per la ghisa nuova,  
 $a = 0.000230$  per la ghisa in servizio.

Considerando questa formola, noi osserveremo intanto che essa fa decrescere  $b_1$  indefinitamente sia al crescere di D, sia al crescere di U. O in altri termini, se per una data categoria di tubi noi formassimo il rapporto  $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$  per tutti i possibili casi, tal rapporto dovrebbe risultare sempre crescente tanto

TABELLA I. — Valori di  $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$  per alcune tubature.

Osservatori	Qualità dei tubi	Diametro in m.	U in m. a 1''	$i$	$\frac{U}{\sqrt{Ri}}$
Darcy	Ghisa con depositi	0.0359	0.051	0.00025	3.225
			0.081	0.00071	2.846
			0.130	0.00183	3.039
			0.253	0.00670	3.091
			0.381	0.01525	3.085
			0.551	0.03240	3.061
			0.633	0.04153	3.106
Darcy	Ghisa nuova	0.188	0.205	0.00027	12.455
			0.497	0.00175	11.881
			0.758	0.00368	12.495
			1.128	0.00805	12.572
			1.488	0.01340	12.854
			1.933	0.02215	12.886
			2.506	0.03810	12.853
			4.323	0.10980	13.046
4.928	0.14591	12.902			
Darcy	Ghisa nuova	0.500	0.421	0.00045	19.831
			0.449	0.00045	21.157
			0.475	0.00060	19.399
			0.793	0.00120	22.898
			0.795	0.00125	22.488
			1.041	0.00210	22.720
			1.113	0.00230	23.218
			1.120	0.00260	21.959
			1.128	0.00250	22.556
Herschell	Ferro nuovo	2.617	0.152	0.000008	53.740
			0.457	0.000084	49.863
			1.370	0.000847	47.074

(\*) Esaminando le esperienze di Darcy su tubi di ghisa dove le U variarono da m. 0.05 fino a m. 5 circa, Levy fece appunto rilevare ciò che anche noi osserveremo fra poco, che cioè per un dato tubo il rapporto  $U: \sqrt{Ri}$  varia in maniera insignificante (*Théorie d'un courant liquide*, ecc. pag. 71)

(\*\*) Secondo Hagen,  $b_1$  dipende anche dalla temperatura dell'acqua.

con D che con U, e ciò giusta la (2), giacché sostituendovi il valore di  $b_1$  se ne ricava:

$$\frac{U}{\sqrt{Ri}} = \frac{\sqrt[8]{DU}}{\sqrt{2a}}$$

Ora, lasciando per un momento da parte la variabilità di  $b_1$  col raggio o col diametro dei tubi, vediamo di consultare direttamente le esperienze riguardo all'influenza esercitata sul coefficiente medesimo dalla velocità U.

Coi dati relativi a quattro diversi diametri, cioè ad uno di piccola dimensione (mm. 35.9), ad uno di media (mm. 183), ad uno di grande (mm. 500) e ad uno di grandissima (millimetri 2617) incominceremo dal ricavare la tabella I dove porremo in evidenza i valori effettivamente assunti, pei diversi casi sperimentati, dal rapporto  $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$ . Noi considere-

remo, come più importanti, i soli tubi di ghisa. Solo è parso utile tener calcolo di un tubo di ferro, in grazia delle sue eccezionali dimensioni che non sarebbe sperabile incontrare in tubi di ghisa.

Ebbene, da una semplice ispezione di questi numeri dobbiamo pur riconoscere che (almeno nelle tubature contemplate) il rapporto  $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$  non varia con U o con  $i$  secondo una

legge definita, ma invece di crescere con esse, oscilla per ciascun diametro attorno ad un valore costante: anzi nell'ultima tubatura (diam. 2,617) sembra decrescere decisamente. Il contrario dovrebbe avvenire se fosse esatta la formola di Flamant. Ben è vero che in parecchie esperienze (e specialmente per piccoli tubi a pareti levigate) il nominato rapporto apparisce sino ad un certo punto crescere con U, ma ciò non basta a stabilire l'universalità della legge e molto meno poi è valevole a determinarla quantitativamente; del

TABELLA II. — Valori di  $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$  per tubi di ghisa nuova.

Osservatori	R	U	$i$	$\frac{U}{\sqrt{Ri}}$	Medie di $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$
Darcy . .	0.04095	0.171	0.00083	29.33	35.87
		2.453	0.09547	39.23	
		3.265	0.17072	39.05	
Darcy . .	0.0685	0.298	0.00087	33.60	42.14
		2.098	0.03318	44.01	
		4.693	0.16756	43.80	
Iben . . .	0.076	0.610	0.00459	32.66	33.17
		1.616	0.03027	33.69	
		0.205	0.00027	40.58	
Darcy . .	0.0945	1.488	0.01340	41.69	41.43
		4.928	0.14591	42.02	
		0.460	0.001339	35.28	
Ehmann .	0.127	0.817	0.004596	33.82	34.55
		0.481	0.00059	43.26	
		0.942	0.00195	46.61	
Lampe . .	0.2095	0.449	0.00045	42.33	44.93
		0.475	0.00060	38.78	
		0.793	0.00120	45.78	
Darcy . .	0.250	0.795	0.00125	44.97	44.09
		1.041	0.00210	45.43	
		1.113	0.00230	46.42	
Brush . .	0.254	1.120	0.00260	43.93	43.75
		1.128	0.00250	45.12	
		0.610	0.000733	44.71	
Dar rach .	0.380	0.915	0.001800	42.79	44.38
		0.448	0.00031	41.28	
		0.628	0.00057	42.67	
Herschell (ferro nuovo)	1.308	0.851	0.00089	46.28	43.92
		0.958	0.00108	47.29	
		0.152	0.000008	46.99	
		0.457	0.000084	43.60	
		1.370	0.000847	41.16	

TABELLA III. — Valori di  $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$  per tubi di ghisa usata.

Osservatori	R	U	i	$\frac{U}{\sqrt{Ri}}$	Medie di $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$
Darcy . .	0.01795	0.253	0.00670	23.1	23.1
		0.633	0.04153	23.2	
Darcy . .	0.03975	0.123	0.00065	24.2	26.0
		0.678	0.01610	26.8	
		1.142	0.04535	26.9	
Meunier .	0.067	0.345	0.00277	25.3	25.9
		0.664	0.00938	26.5	
Meunier .	0.100	0.881	0.01740	25.8	34.7
		0.424	0.00172	32.3	
Darcy . .	0.1216	0.990	0.00713	37.1	29.2
		0.452	0.00202	28.8	
		1.547	0.02290	29.3	
Simpson .	0.152	3.833	0.13981	29.4	39.3
		1.327	0.00769	38.8	
Leslie . .	0.203	0.880	0.00322	39.8	42.0
		2.080	0.01417	38.8	
Simpson .	0.240	4.420	0.04737	45.1	39.4
		0.623	0.00107	39.2	
Meunier .	0.300	0.855	0.00194	39.6	35.3
		0.268	0.00022	33.0	
Simpson .	0.380	0.531	0.00077	34.9	40.8
		1.060	0.00259	38.0	
Humblot.	0.400	0.540	0.00046	40.8	32.7
		0.667	0.00123	30.1	
Meunier .	0.450	0.832	0.00152	33.8	43.1
		0.998	0.00211	34.4	
		0.400	0.00020	42.2	
		2.070	0.00500	43.6	

resto sono i tubi di ghisa quelli di cui vogliamo occuparci, e segnatamente quelli di notevoli dimensioni.

Io non negherò che abbia luogo qualche influenza di U su  $b_1$ , ma credo bene che tale influenza in atto pratico subisca molto spesso la sorte di quella che forse vi ha la pressione assoluta, cioè che viene troppo sopraffatta dalle molteplici cause d'irregolarità che intervengono nei singoli casi per poterla a dovere scervere da queste.

Ma se generalmente insignificante, od almeno di troppo incerta valutazione è l'influenza su  $b_1$  di U, non può dirsi altrettanto di quella di R e del grado di scabrosità delle pareti. Fa meraviglia veramente come a molti autori, anche posteriori a Prony, tale influenza fosse totalmente sfuggita. Ma dopo le esperienze di Darcy non parve più ragionevole ad alcuno porla in dubbio.

Ed ora, con risultati di Darcy medesimo e con quelli presi in esame dal Flamant (\*), noi abbiamo costruito le tabelle II e III:

Delle esperienze di Darcy furono ivi riportate solo alcune e per lo più le corrispondenti ad una velocità minima, ad una media e ad una massima per ciascuna tubulatura escludendo però velocità inferiori a m. 0.10, sia perchè le pendenze, necessariamente piccolissime, presentano allora non poca incertezza, sia perchè così tenui velocità raramente si traducono in atto. Parimenti non si è tenuto conto di alcune esperienze che a causa di loro condizioni speciali (curve, tubi incrostati dove al diametro è attribuito il suo valore originario, ecc.), dovevano chiaramente venire scartate.

È qui noterò di passaggio come cosa evidente non essere possibile dare, per tubi internamente ricoperti di incrostazioni e di abbondanti depositi, formole in funzione del diametro primitivo; giacchè in tal caso si ha per lo meno un elemento incognito, qual'è la grossezza dello strato incrostante o, ciò che è lo stesso, l'effettivo diametro medio della tubulatura: elemento la cui incertezza è di molto pregiudizio.

Ma limitandosi anche ai casi dove la grossezza dell'incrostazione sia nulla o trascurabile, bisogna pur confessare che

è un'impresa assai ardua compendiare in una sola espressione algebrica e possibilmente semplice tutte le esperienze relative ad una data specie di tubi. Si è ben lungi qui dal trovarci soltanto in presenza di risultati ottenuti coi disciplinati metodi adottati da Darcy; cioè operando su tronchi esattamente rettilinei, esenti da qualunque brusco mutamento di sezione nelle giunzioni, calcolando con ogni diligenza i diametri medii, ecc. Le esperienze costituenti il nuovo materiale che ci si offre da esaminare, furono eseguite su tubulature posate secondo i metodi ordinari, non rettilinee; i diametri ad esse attribuiti sono i nominali, e via dicendo. È quindi da prevedere che se noi costruiremo un diagramma prendendo, per esempio, come ascisse i raggi R e come ordinate

le medie dei rapporti  $\frac{U}{\sqrt{Ri}}$ , non otterremo già punti situati

nettamente su di una curva continua e ben definita. Per procedere allora alla ricerca della nostra funzione, dovremo contentarci di studiare una curva regolare che, lasciando fuori il minimo numero di punti, si accosti il meglio possibile a tutti i rimanenti, e ciò avendo insieme presente che l'equazione esprimente la curva sia di forma non troppo complessa.

Orbene, se coi dati precedenti noi prendiamo a tracciare un diagramma nel modo indicato, troveremo che il luogo geometrico così individuato è per ciascuna delle due categorie (ghisa nuova e ghisa usata) abbastanza assomigliabile ad un ramo d'iperbole conica avente gli asintoti paralleli agli assi coordinati. Scorderemo che l'asintoto diretto secondo l'asse delle ascisse è situato da esso a distanza positiva e l'altro dall'asse delle ordinate a distanza negativa. Sicchè, detti  $y_0$  ed  $x_0$  i valori assoluti di tali distanze e C una costante, avremo, invocando una nota proprietà dell'iperbole:

$$\left(y_0 - \frac{U}{\sqrt{Ri}}\right)(x_0 + R) = C,$$

dalla quale ricavasi:

$$\frac{U}{\sqrt{Ri}} = y_0 - \frac{C}{x_0 + R}.$$

Da questa, mediante la (2), si otterrà, volendo, l'espressione di  $b_1$ .

Dopo qualche tentativo ne risulta che i valori più soddisfacenti delle costanti sarebbero:

per la ghisa nuova:

$$x_0 = 0.07, \quad y_0 = 47, \quad C = 1.4;$$

per la ghisa usata:

$$x_0 = 0.07, \quad y_0 = 47, \quad C = 3.$$

Per la ghisa usata occorrerebbe veramente distinguere diverse categorie secondo lo stato più o meno deteriorato delle pareti. Così C risulterebbe variare da 2 a 3 ed anche oltre, in qualche caso. Prendendola per tutti indistintamente uguale a 3, si ha maggior probabilità di avere U errata in difetto che in eccesso, come nelle applicazioni è preferibile.

Sicchè le due equazioni del moto dell'acqua sarebbero:

$$(3) \quad U = \sqrt{Ri} \left(47 - \frac{1.4}{0.07 + R}\right)$$

per la ghisa nuova, ed

$$(4) \quad U = \sqrt{Ri} \left(47 - \frac{3}{0.07 + R}\right)$$

per la ghisa usata. Tali sono le formole che proporrei di sostituire alle adottate sinora. Esse hanno intanto una qualità non dispregevole: di esser molto semplici.

Per sottoporle alla prova, le applicheremo a varii casi riferentisi, al solito, a piccoli, medii e grandi diametri. Le velocità medie U calcolate sono raccolte nelle Tabelle IV e V a fianco delle U sperimentali. Insieme applicheremo agli stessi casi tre altre formole diverse, cioè quelle di Darcy (nominale) (\*), di Levy e di Flamant. Esse sono le seguenti:

(\*) Cfr. la Rivista tecnica per gli Ingegneri, Anno I, n. 10.

(\*) Si è in ciò seguito l'esempio di Darcy medesimo, il quale, alla

a) Per la ghisa nuova:

Darcy:  $U = \sqrt{\frac{R i}{0.00051 + \frac{0.0000065}{R}}}$

Levy:  $U = 36.4 \sqrt{R i (1 + \sqrt{R})}$

Flamant:  $U = D \sqrt[5]{\frac{i}{4 \times 0.000185}}^{\frac{4}{7}}$

b) Per la ghisa usata:

Darcy:  $U = \sqrt{\frac{R i}{0.00101 + \frac{0.000013}{R}}}$

Levy:  $U = 20.5 \sqrt{R i (1 + 3\sqrt{R})}$

Flamant:  $U = D \sqrt[5]{\frac{i}{4 \times 0.00023}}^{\frac{4}{7}}$

TABELLA IV. — Velocità medie per tubi di ghisa nuova.

Osservatori	R	i	U sperimentale	U secondo Darcy	U secondo Levy	U secondo Flamant	U secondo la (3)
Darcy . . .	0.04095	0.00083	0.171	0.226	0.226	0.179	0.216
	»	0.17072	3.265	3.241	3.247	3.754	3.099
	0.0945	0.00027	0.205	0.208	0.210	0.215	0.204
	»	0.14591	4.928	4.835	4.883	6.231	4.733
Darrach . .	0.250	0.00045	0.421	0.449	0.459	0.487	0.462
	»	0.00250	1.128	1.083	1.153	1.222	1.089
	0.380	0.00031	0.448	0.473	0.502	0.500	0.484
	»	0.00108	0.958	0.882	0.937	0.980	0.903
Herschell (ferro nuovo)	1.308	0.000008	0.152	0.142	0.172	0.150	0.149
	»	0.000847	1.370	1.467	1.774	2.147	1.538

TABELLA V. — Velocità medie per tubi di ghisa usata.

Osservatori	R	i	U sperimentale	U secondo Darcy	U secondo Levy	U secondo Flamant	U secondo la (4)
Darcy . . .	0.03975	0.00065	0.123	0.139	0.132	0.134	0.100
	»	0.04535	1.142	1.165	1.106	1.520	0.835
Meunier . .	0.0675	0.00277	0.345	0.395	0.371	0.449	0.346
	»	0.0174	0.881	0.989	0.930	1.233	0.866
Darcy . . .	0.1216	0.00202	0.452	0.468	0.462	0.571	0.491
	»	0.13981	3.333	3.896	3.842	6.428	4.086
Simpson . .	0.240	0.00107	0.628	0.552	0.515	0.645	0.671
	»	0.00194	0.855	0.663	0.693	0.907	0.805
Meunier . .	0.380	0.00046	0.540	0.408	0.458	0.553	0.533
	0.450	0.00020	0.400	0.294	0.250	0.388	0.391
»	»	0.00500	2.070	1.472	1.683	2.440	1.956

Non possiamo qui non ammirare l'eccellenza della formola di Darcy per la ghisa nuova, che sebbene dedotta da diametri fra 1 e 50 centimetri, si verifica con piccola differenza fino a diametri di m. 2.60. Sembra anzi naturale che pel tubo di ferro, a cui questa dimensione si riferisce, la velocità teorica debba essere leggermente maggiore della sperimentale a causa della piccola resistenza addizionale dovuta ai giunti

fine delle sue *Recherches* (pag. 228 e segg.) fa seguire tavole numeriche per la calcolazione dei tubi di ghisa nuova basate sulla propria formola monomia.

fra le lamiere ed alle chiodature. Non altrettanto però può dirsi per la ghisa usata. Le U della formola corrispondente (ottenuta raddoppiando il b, della ghisa nuova) risultano notevolmente inferiori al vero per grandi diametri, e perciò i valori per essi dedotti sono eccessivi. E difatti la formola fu stabilita su tre soli diametri compresi fra limiti ben ristretti, cioè: D = 0.0359, D = 0.0795, D = 0.2432.

La formola di Flamant, benchè pregevole per la sua semplicità ed eleganza, dà però visibilmente valori enormi quando si hanno grandi pendenze, e quindi pei diametri valori troppo scarsi.

Debbo, per amor del vero, riconoscere che la (4) dà velocità alquanto errate in difetto per tubi di piccolo diametro. Del resto in pratica ciò non costituisce danno, perchè, siccome a parità di grossezza di deposito (il quale non può mancare con l'uso) la riduzione proporzionale della sezione è maggiore nei piccoli diametri che nei grandi, è bene in quei casi specialmente assegnare dimensioni abbondanti, al che conduce la nostra formola.

Ma passando all'estremo opposto di maggiore interesse, giacchè ogni giorno più va crescendo l'uso e la lunghezza dei grandi diametri, parmi poter affermare che, escluse la (3) e la (4), le diverse formole sopra riportate sono tanto meno attendibili quanto maggiore è il raggio R. E ciò, a mio credere, non risulta soltanto dagli esempi arrecati, ma anche da considerazioni più generali, come ora farò di mostrare.

Le formole proposte pel moto dell'acqua nei tubi possono ridursi a due classi. Alla prima appartengono quelle che fanno crescere indefinitamente col raggio il rapporto  $\frac{U}{\sqrt{R i}}$ ;

alla seconda le altre che assegnano alla stessa quantità un limite finito, qualunque possa essere la grandezza di R. Di quest'ultima classe sono (3) e (4). Ora, se punto non m'inganno, la mancanza di generalità delle formole della prima classe, quali sono per es. quelle di Levy e la recente di Flamant, è rivelata appunto dall'espressione:

$$\lim. \frac{U}{\sqrt{R i}} = \infty, \text{ ossia } \lim. b_1 = 0$$

di assai dubbia legittimità. Vediamolo prima *a priori*.

L'equazione fondamentale (1), dove per f(U) sia posto il suo valore b, U<sup>2</sup>, mostra che b<sub>1</sub> è la resistenza d'attrito riferita all'unità di superficie della parete e all'unità di velocità. Ora sia pure R grande quanto si voglia, noi potremo sempre assegnare alla pendenza i un valore abbastanza piccolo da ottenere velocità finite. Dunque b<sub>1</sub> non potrà mai ridursi a 0, perchè ciò significherebbe che la resistenza d'attrito, per un liquido scorrente su d'una parete piana con velocità pari ad 1, è nulla: il che è assurdo. Nè vale l'opporre che la velocità W sulla parete, della quale più propriamente l'attrito è funzione, non è la stessa che U, mentre Darcy ha dimostrato che le eccedenze della velocità del filetto centrale su W e su U stanno fra loro in un rapporto assolutamente costante (\*), e, comunque sia, W ed U sono dello stesso ordine di grandezza (\*\*). Ma proviamo il nostro assunto con un altro argomento.

Supponiamo che, dopo calcolato  $\frac{U}{\sqrt{R i}}$  per una data tubu-

latura con una qualunque delle formole usuali, noi volessimo valutar lo stesso rapporto trattando la tubulatura come un canale, cioè applicandole le formole che ai canali si conven-gono. Ognuno concederà che i due risultati così ottenuti dovrebbero riuscire, non dirò esattamente uguali, il che sarebbe troppo pretendere, ma almeno comparabili fra di loro. Ora una delle formole più accreditate è quella di Bazin, ricavata dalla discussione non solo di esperienze proprie su piccoli canali, ma anche di altre eseguite su corsi d'acqua

(\*) Cf. BRESSE, *Hydraulique*, pag. 131. — DARCY, *Recherches*, pagina 133.

(\*\*) Sottoponendo all'analisi matematica le esperienze di Poiseuille sui tubi capillari, risulterebbe che in essi W=0. Ma qui si tratta di tutt'altre dimensioni.

di grande sezione (\*). Detto  $R_m$  il raggio medio della sezione, cioè la sua area divisa pel perimetro bagnato, la formola menzionata ha per tipo:

$$\frac{R_m i}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R_m},$$

dove  $\alpha$  e  $\beta$  sono delle costanti dipendenti dal grado di scabrosità dell'alveo. Di qui, per  $R_m = \infty$ , si ricava, sparendo l'ultimo termine del secondo membro:

$$\frac{U}{\sqrt{R_m i}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}.$$

Poichè per una sezione circolare intera di raggio  $R$  si ha:

$$R_m = \frac{\pi R^2}{2\pi R} = \frac{R}{2},$$

per tal caso la precedente diviene:

$$\frac{U}{\sqrt{R i}} = \frac{1}{\sqrt{2\alpha}},$$

quantità finita e costante per una data natura di pareti. Per le due categorie intermedie fra le quattro stabilite da Bazin, cioè per pareti *unite* e *poco unite*, a cui possono in qualche modo compararsi la ghisa nuova e la ghisa con depositi, e per le quali egli assegna rispettivamente i valori:

$$\alpha = 0.00019, \quad \beta = 0.0000133$$

ed

$$\alpha = 0.00024, \quad \beta = 0.00006$$

otterremo:

$$\frac{U}{\sqrt{R i}} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 0.00019}} = 51.3$$

ed

$$\frac{U}{\sqrt{R i}} = \frac{1}{\sqrt{2 \times 0.00024}} = 45.7.$$

Ora tanto la (3) che la (4) danno per  $R = \infty$ :

$$(5) \quad \frac{U}{\sqrt{R i}} = 47,$$

numero poco differente dai due precedenti.

Alla seconda delle classi da noi distinte appartengono le formole per i tubi di Prony e di Darcy. Quella di Prony, cioè:

$$U = \sqrt{0.0062 + 1435.72 R i} - 0.025$$

per  $R = \infty$  dà unicamente:

$$\frac{U}{\sqrt{R i}} = \sqrt{1435.72} = 37.9.$$

Al contrario la formola di Darcy relativa alla ghisa nuova fornisce per lo stesso valore di  $R$ :

$$\frac{U}{\sqrt{R i}} = \frac{1}{\sqrt{0.00051}} = 44.2$$

e quella relativa alla ghisa usata:

$$\frac{U}{\sqrt{R i}} = \frac{1}{\sqrt{0.00101}} = 31.4.$$

E qui non voglio passare sotto silenzio una curiosa trasformazione della formola (4) messa a riscontro con la Bazin. Dalla (4) si ottiene:

$$\frac{R i}{U^2} = \frac{1}{\left(47 - \frac{3}{0.07 + R}\right)^2},$$

che è poi il valore di  $2b_1$  per la ghisa usata. Supponiamo  $R$  molto grande, ma non infinito. Allora, sviluppando in serie il secondo membro e fermandoci al secondo termine abbiamo:

$$\frac{R i}{U^2} = \frac{1}{47^2} + \frac{6}{47^3} \frac{1}{0.07 + R}.$$

Quindi, trascurando 0.07 di fronte ad  $R$  e ponendo per questo il suo valore  $2R_m$ , risulta ad operazioni fatte:

$$\frac{R_m i}{U^2} = 0.00022 + \frac{0.000015}{R_m},$$

equazione identica alla Bazin quando pongasi:

$$\alpha = 0.00022, \quad \beta = 0.000015.$$

Così la ghisa usata formerebbe una categoria compresa fra le pareti *unite* e le *poco unite*.

La formola Darcy per i tubi usati darebbe:

$$\frac{R_m i}{U^2} = 0.00051 + \frac{0.0000032}{R_m}.$$

Di qui già pare di scorgere che il primo coefficiente è troppo esagerato a scapito del secondo, mentre Bazin fa variare  $\alpha$  fra i limiti estremi di 0.00015 (tavole piattate, cemento) e 0.00028 (pareti in terra).

Se non che potrà da taluno obiettarsi esser poco accettabile il nostro risultato (5), vale a dire che  $\frac{U}{\sqrt{R i}}$ , e perciò  $b_1$ ,

assuma al limite lo stesso valore tanto per la ghisa nuova come per l'usata, contrariamente a quanto portano le formole Darcy: che insomma si tornerebbe in parte alle antiquate idee di Prony.

Or bene, io ritengo all'opposto che quest'unità di valore sia un'ulteriore garanzia di attendibilità in favore delle nostre formole. E difatti ragion vuole che, al crescere progressivo del raggio della sezione, vada sempre più perdendo d'influenza sulla portata della corrente lo stato particolare delle pareti. A prova di ciò militerebbero fors'anche argomenti teorici; ma, per non dilungarci di soverchio, ci limiteremo ad osservare che la nostra opinione su questo particolare va perfettamente d'accordo con quella di eminenti idraulici d'incontestata autorità. Ganguillet e Kutter, discutendo la formola proposta da Gauckler, che per altro si riferisce specialmente a piccoli canali (\*), le rimproverano ap-

punto di assegnare un valore infinito ad  $\frac{U}{\sqrt{R_m i}}$  per un raggio

medio infinito. Essi perciò, nell'intento di stabilirne una più conveniente, presero a modello la formola Bazin sopra ricordata, proponendosi però di modificarla in guisa che per  $R_m = \infty$  si avesse per  $\frac{U}{\sqrt{R_m i}}$  un valore finito ed indipendente

dal grado di scabrosità dell'alveo (\*\*), parendo loro unicamente questo un criterio razionale.

Ora, se la cosa è ragionevole per i canali, lo è ugualmente per i tubi di condotta. Così anche la formola di Darcy cadrebbe manifestamente in difetto per  $R = \infty$ , sebbene assegni ad  $\frac{U}{\sqrt{R i}}$  valori limiti finiti, mentre li fa variabili con la scabrosità delle pareti.

Confermerò per ultimo l'attendibilità della (4) per grandi diametri con alcuni risultati numerici tratti dal Fanning (\*\*\*). Sostituendo per  $U$  il suo valore in funzione della portata  $Q$ , il che torna più comodo, ossia ponendo:

$$U = \frac{4Q}{\pi D^2},$$

nonchè  $\frac{D}{2}$  per  $R$ , da (4) si ottiene coll'elevazione a quadrato:

$$(6) \quad i = \frac{32}{\pi^2 \left(47 - \frac{6}{0.14 + D}\right)^2} \frac{Q^2}{D^5}.$$

(\*) Cf. NAZZANI, *Irradiazione pratica*, tom. II, pag. 87.

(\*\*) Ivi, pag. 89.

(\*) Esse sono le numerose fatte da Funk sul Weser, e dagli ingegneri italiani sul Po e sul Tevere.

(\*\*\*) *A practical treatise on water supply engineering*. — New-York, 1878.

Detto per brevità K il fattore di  $\frac{Q^2}{D^5}$ , ne viene:

$$i = K \frac{Q^2}{D^5}$$

sotto la qual forma è posta spesso la relazione fra *i*, Q e D.

Ora ecco i dati del Fanning per tubi molto usati e per U = m. 0.90, che può ritenersi come una media per la pratica (\*). A fianco vi abbiamo posto i K come risultano dalla nostra formola.

TABELLA VI. — Valori di K.

D	K secondo Fanning	K secondo la (6)
0.05	0.0047	0.01364
0.10	0.0040	0.00670
0.20	0.0031	0.00376
0.30	0.0027	0.00291
0.40	0.0025	0.00252
0.50	0.0023	0.00229
0.60	0.0022	0.00214
0.70	0.0021	0.00200
0.80	0.0020	0.00196
0.90	0.0019	0.00191
1.00	0.0018	0.00186

Come vedesi, le divergenze vanno sparendo a misura che cresce D. Secondo Darcy il minimo valore di K (corrispondente ad R = ∞) risulterebbe:

$$K = \frac{32}{\pi^2} \times 0.00101 = 0.0033;$$

secondo la (6) K minimo sarebbe invece:

$$K = \frac{32}{(47 \pi)^2} = 0.00147.$$

La concordanza fra i due avrebbe luogo se il coefficiente *b*<sub>1</sub> di Darcy non fosse raddoppiato. Ricordando che la formola Darcy per la ghisa nuova è molto più attendibile di quella per la ghisa usata, dovremo riconoscere che tal risultato convalida la nostra asserzione precedentemente enunciata, che cioè per grandissimi diametri l'influenza dello stato speciale delle pareti finisce per annullarsi.

La tavola numerica seguente è destinata ad agevolare le calcolazioni della formola (4), ovvero (6), relativa alla ghisa in uso. Quest'ultima può scriversi anche più brevemente:

$$i = \alpha Q^2$$

se pongasi  $\alpha = \frac{K}{D^5}$ . Prendendo i logaritmi dei 2 membri, abbiamo:

$$\log i = \log \alpha + 2 \log Q,$$

dalla quale desumonsi le altre due formole da adoperarsi, secondochè l'incognita è D ovvero Q, invece di *i*, vale a dire:

$$\log \alpha = \log i - 2 \log Q,$$

$$\log Q = \frac{\log i - \log \alpha}{2}.$$

La tavola dà i valori di log α corrispondenti ad una serie di valori di D.

Avverto che la (4) dà pei diametri valori superiori a quelli di Darcy da D = m. 0.00 a D = m. 0.21, ed inferiori da questo limite in poi.

(\*) Del resto rammentisi che l'influenza di U su *b*<sub>1</sub>, e quindi su K, è trascurabile.

TABELLA VII. — Valori di log α.

D in m.	Log α	D in m.	Log α	D in m.	Log α
0.01	8.8206	0.32	1.9217	1.10	3.0483
0.02	7.0504	0.34	1.7739	1.20	4.8593
0.03	5.5982	0.36	1.6335	1.30	4.6858
0.04	5.2287	0.38	1.5160	1.40	4.5248
0.05	4.6397	0.40	1.3903	1.50	4.3565
0.06	4.1582	0.42	1.2753	1.60	4.2165
0.07	3.7543	0.44	1.1627	1.70	4.0850
0.08	3.4051	0.46	1.0477	1.80	5.9605
0.09	3.0992	0.48	2.9557	1.90	5.8430
0.10	2.8261	0.50	2.8648	2.00	5.7150
0.12	2.3572	0.55	2.6422	2.20	5.5080
0.14	1.9507	0.60	2.4402	2.40	5.3290
0.16	1.6275	0.65	2.2560	2.60	5.1291
0.18	1.3256	0.70	2.0843	2.80	6.9681
0.20	1.0706	0.75	3.9261	3.00	6.8172
0.22	0.8321	0.80	3.7779	3.50	6.4822
0.24	0.6305	0.85	3.6399	4.00	6.1833
0.26	0.4301	0.90	3.5094	4.50	7.9248
0.28	0.2411	0.95	3.3853	5.00	7.6936
0.30	0.0793	1.00	3.2700	6.00	7.2940

Concluderò questa breve nota dicendo che da uno studio accurato sopra un più ricco materiale di esperienze sulle tubature si ricaveranno forse in avvenire formole pratiche più adatte di quelle qui proposte; ma non è probabile che si giungano a dimostrar false le due proprietà che a me paiono indubbiamente competere al coefficiente di resistenza *b*<sub>1</sub>, cioè: 1° che esso, a parità di condizioni, al crescere del raggio tenda asintoticamente ad un valore determinato e finito; 2° che tal valore limite sia indipendente dal grado di levigatezza delle pareti, sebbene verisimilmente variabile con la natura del liquido fluente.

Roma, aprile 1895.

Ing. P. ALIBRANDI.

## FISICA INDUSTRIALE

### I FORNI ELETTRICI ED I CARBONI ARTIFICIALI DELLA SOCIETÀ « LE CARBONE »

a Levallois-Perret presso Parigi

concessionaria delle Privative industriali GIRARD E STREET.

È noto qual valore gli elettricisti debbano attribuire ai buoni carboni artificiali. Questi hanno nelle applicazioni elettriche una funzione tanto importante, che diventa particolarmente interessante ogni miglioria nella loro fabbricazione. Il signor Street, l'egregio Direttore della Società « Le Carbone », ha recentemente fatto alla Società Internazionale degli Elettricisti una comunicazione su tal proposito, della quale crediamo utile dare una speciale menzione. Non seguiremo il signor Street in tutti i particolari della sua comunicazione, ma ne riferiremo i punti più importanti.

I signori Girard e Street hanno, mediante processi che indicheremo, aumentato considerevolmente le qualità dei carboni artificiali che si impiegano come elettrodi nelle lampade ad arco e come anodi nelle operazioni elettrolitiche, e soprattutto come spazzole (*balais*) e collettori di corrente nelle macchine elettriche. A tale scopo essi hanno utilizzato il forno elettrico, che dà ai materiali crudi una cottura tale che i carboni artificiali ne acquistano il massimo pregio, essendo riconosciuto che tale pregio aumenta proporzionalmente alla temperatura a cui i materiali crudi sono stati portati.

È noto che nei forni elettrici ordinari la elevazione di temperatura è localizzata in uno spazio estremamente ristretto; ne risulta evidentemente un riscaldamento molto disuguale. Per ovviare a tale inconveniente, bisognerebbe moltiplicare in una proporzione assai considerevole il numero dei centri di riscaldamento (*brûleurs*) elettrici ed in tal modo giungere ad un consumo di corrente sproporzionato al risultato da ottenersi.

I signori Girard e Street hanno risolto il problema, facendo circolare o passare nel forno, in modo continuo, i materiali da trattare. La fig. 76 rappresenta, parte in sezione, parte in elevazione, un forno destinato al riscaldamento di materie solide sotto forma di aste, sbarre o fili. Questo apparecchio è costituito da un blocco di materiale refrattario *a* in una o più parti mantenute ed assicurate da un rivestimento metallico esterno *b*. Il blocco refrattario presenta nel suo centro una cavità *c*, che è la camera di riscaldamento propriamente detta. In questa camera di riscaldamento sboccano: un condotto, che riceve un carbone *d*, ed un canale che attraversa il materiale refrattario da parte a parte, e nel quale è introdotta la sbarra *e* che deve essere trattata. Questa sbarra *e* è animata da un moto di traslazione, che le fa attraversare il forno e la camera di riscaldamento con una velocità che deve essere funzione della sua massa e della temperatura a cui si desidera portarla. La camera di riscaldamento propriamente detta è costituita da un blocco di carbone.

Nel modello rappresentato nella fig. 76, il circuito è costituito dal pezzo da riscaldare *e* da una parte, e dall'altra dal carbone *d*. L'arco si sprigiona tra i due elettrodi, si mantiene fisso nello spazio, malgrado il movimento di traslazione del pezzo *e*, e si appoggia successivamente su tutti i punti consecutivi d'una generatrice del pezzo da riscaldare, portando questi punti ad una temperatura assai elevata. S'intende facilmente che la velocità, con cui il pezzo sarà messo in moto, regolerà la temperatura media che raggiungerà ogni elemento di questo pezzo. Nel caso in cui il riscaldamento deve prodursi in un'atmosfera di gaz appropriato, il pezzo *e* traversa dei premistoppa *g* ed *h*, alla sua entrata ed uscita dal forno. Il carbone *d* traversa ugualmente un premistoppa *k*. In *l* e *m* sono rappresentati degli orifizi di entrata e di uscita per i gaz. Infine, si vede in *n* una presa per un manometro.

La lunghezza dell'arco, tra il carbone *d* e il pezzo *e*, può essere mantenuta costante.

Il pezzo *e* cammina, prima della sua entrata e dopo la sua uscita dal

forno propriamente detto, in tubi o camere convenienti *h*, che gli permettono di essere preparato all'azione del forno, da una parte, mediante un soggiorno nell'atmosfera speciale che vi è creata, e dall'altra di raffreddarsi prima di attraversare il premistoppa all'uscita.

Il forno può funzionare con due archi in serie.

Il movimento di traslazione è impresso al pezzo o ai pezzi successivi da riscaldare per mezzo di rullini d'avviamento azionati da un motore elettrico.

Nel caso in cui si desidera di far passare nel forno delle materie in polvere, il pezzo *e* può essere costituito da un tubo di materia adatta alla temperatura che deve sopportare la massa. Esso è allora chiuso alle due estremità e contiene la materia da trattare.

Invece di circolare col suo recipiente o crogiuolo, la materia da trattarsi può, al contrario, essere messa in movimento dentro al suo involuppo, che sta allora fisso. La disposizione impiegata è rappresentata nella fig. 77, in cui la camera di riscaldamento è costituita da un carbone tubolare *r*, che serve allo stesso tempo di recipiente e di elettrodo per l'arco.

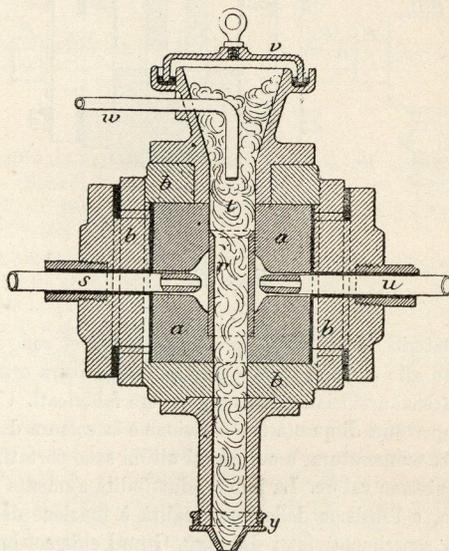


Fig. 77.

Nel caso in cui le materie, dopo il loro passaggio nella camera di riscaldamento *r*, sono suscettibili di presentarsi allo stato di fusione, la Società « Le Carbone » impiega il tipo di forno rappresentato nella fig. 78. Questa disposizione presenta un canaletto di colata *z*, disposto in tal modo che, malgrado la sua apertura, i gaz speciali possono essere mantenuti nell'interno del forno.

È talvolta interessante di ripartire in modo più uniforme l'azione

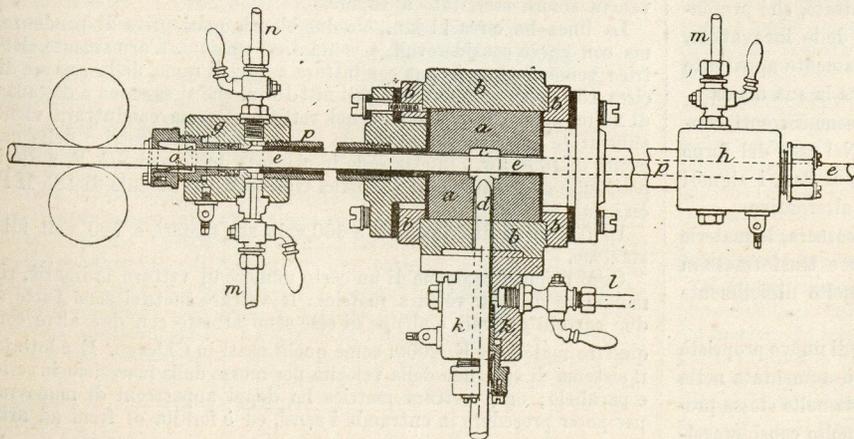


Fig. 76.

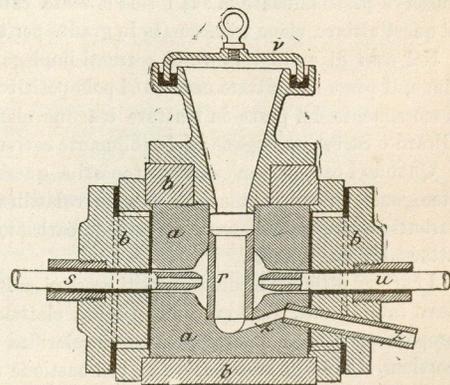


Fig. 78.

dell'arco elettrico sulle materie da trattare. Per arrivare a tal risultato, i signori Girard e Street fanno girare l'arco all'interno del forno, determinando in quest'ultimo un campo magnetico conveniente. L'asta o sbarra *e* (fig. 79) passa attraverso uno o più carboni *s* posti all'interno del forno ed aventi un foro concentrico all'asta o sbarra *e*. L'arco si sprigiona tra questa sbarra *e* ed il carbone od i carboni *s* in un punto iniziale. L'arco così prodotto rappresenta un elemento della corrente. Si determina un campo magnetico, circondando i tubi esterni del forno con un avvolgimento conveniente di filo, che è attraversato da una corrente elettrica.

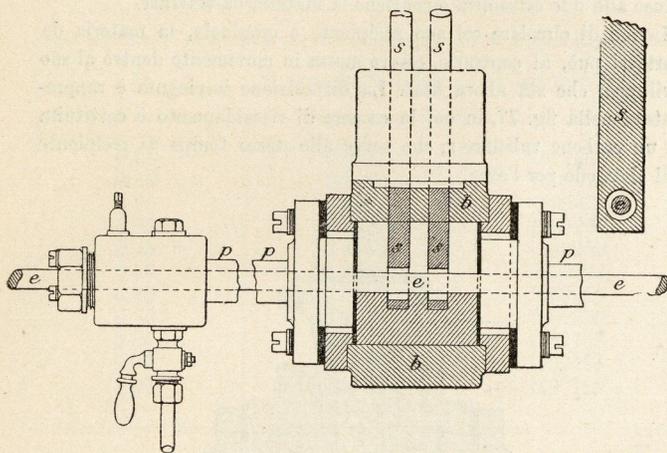


Fig. 79.

I forni elettrici ideati dai sigg. Girard e Street sono stati creati specialmente allo scopo di portare ad una temperatura estremamente elevata i carboni artificiali quali vengono ora fabbricati. Uno dei fattori più importanti di questa fabbricazione è la cottura dei materiali crudi. Più la temperatura, a cui questi ultimi sono portati, è elevata, più essi acquistano valore. La loro conduttibilità aumenta con questa temperatura, e l'insieme delle loro qualità è funzione del grado di cottura. Gli esperimenti fatti dai sigg. Girard e Street in tal ordine d'idee avevano loro fatto presentire che, portando i carboni alla temperatura la più elevata di cui ora si dispone, essi ne avrebbero ottenuti nuovi ed interessanti risultati. A tale scopo, essi pensarono di far sprigionare l'arco elettrico dalla superficie stessa del carbone da trattare, ciò che essi realizzarono per mezzo del loro forno.

Quando si fanno sprigionare due archi in serie dall'una e dall'altra parte di una lamina o di un'asta di carbone animata da un moto di traslazione, se l'intensità della corrente è relativamente bassa, gli archi tracciano su questo carbone due generatrici che sono rese grafittiche. A misura che la temperatura interna del forno cresce, la zona, che è sede della trasformazione si modifica, si allarga sulla periferia e la penetrazione aumenta. Dopo un certo tempo, il carbone trattato, che presentava nel sito toccato dall'arco dei rigonfiamenti e delle incavature, conserva perfettamente la sua forma e, senza cambiamento apparente di quest'ultima, viene trasformato in grafite per tutta la sua massa.

Nel caso di archi rotanti, le correnti impiegate sono correnti continue, il pezzo da trattare essendo al polo positivo. Nel caso del forno a scorrimento del pezzo da trattare tra due elettroidi fissi, i signori Girard e Street impiegano preferibilmente correnti alternative.

Quando i carboni sono stati sottoposti a questa cottura, le materie eterogenee ch'essi contengono si sono volatilizzate o trasformate in carburi, a proporzioni assai elevate di carbonio, molto difficilmente attaccabili dagli acidi.

I carboni ottenuti mediante questi processi godono di nuove proprietà assai interessanti. La loro conduttibilità elettrica è aumentata nella proporzione di 1 a 4. La conduttibilità calorifica varia nelle stesse proporzioni. Infine la resistenza alla combustione è molto considerevolmente aumentata, come pure quella all'azione degli alcali fusi. La densità d'un carbone ordinario di 14 mm. fu trovata, prima del trat-

tamento nel forno elettrico, di 1,98. Quella dello stesso carbone, dopo il passaggio nel forno, era di 2,6. La proporzione del carbonio trasformato in grafite era di 85 per 100. La densità di un carbone di 25 mm. dopo il passaggio nel forno fu trovata di 2,36; il suo tenore in grafite di 80 per 100.

Le proprietà particolari di questi nuovi carboni permettono di impiegarli con vantaggio:

Come ELETTRIDI per le lampade ad arco;

Come ANODI nelle operazioni elettrolitiche;

Come SPAZZOLE e COLLETTORI di corrente di macchine elettriche.

Impiegati come carboni negativi, nelle lampade ad arco, essi presentano, restando eguali tutte le altre condizioni, un consumo metà soltanto di quello dei carboni ordinari.

Impiegati come anodi, questi carboni si comportano in modo affatto notevole, sia nell'elettrolisi per via umida che nell'elettrolisi per via secca. I carboni artificiali si disgregano assai rapidamente, cadono in polvere, e rendono impossibile ogni applicazione industriale per la necessità di dover smontare e rimontare gli apparecchi elettrolitici ad intervalli troppo brevi. Nel caso particolare dell'elettrolisi di cloruri metallici, i risultati ottenuti sono moltissimo soddisfacenti.

La grande conduttibilità elettrica dei carboni elettro-graftici e la loro struttura di un'omogeneità perfetta li raccomandano specialmente all'attenzione degli elettricisti per la loro applicazione alle macchine dinamo-elettriche come spazzole e collettori di correnti. Le spazzole di carbone ordinario presentano, in linea generale, dei grandi vantaggi; tra cui si possono citare i seguenti: soppressione delle scintille, possibilità di camminare avanti ed indietro senza cambiare l'attacco, conservazione dei collettori in perfetto stato. Le spazzole di carbone elettro-graftico permettono di estenderne l'impiego a macchine che, a motivo della loro costruzione o delle loro costanti qualità di marcia, non potevano finora ricevere altre spazzole che le metalliche. Inoltre, lo stato particolare in cui si trova il carbonio in queste spazzole dà luogo ad una grande dolcezza di fregamento senza un esagerato insudiciamento dei collettori; ed assicura un'alta conduttibilità al punto di contatto tra le spazzole ed il collettore. I sigg. Sautter-Harlé trovarono che a parità di tutte le altre condizioni, si poteva far sopportare alle spazzole elettro-graftiche un'intensità di corrente due volte maggiore che quella riconosciuta come pericolosa per le spazzole di carbone ordinario.

E. G. B. C.

## NOTIZIE

**Prime applicazioni della trazione elettrica sulle ferrovie ordinarie.** — Come prova del movimento che si va rapidamente accennando in America per la sostituzione della elettricità al vapore sulle reti ferroviarie, notiamo che mentre l'impianto per il tunnel di Baltimora, che doveva inaugurarsi sei mesi fa è ancora in corso di esecuzione, la compagnia esercente della *New-York, New Haven and Hartford Ry.*, ha definitivamente inaugurato la trazione elettrica sul tronco della detta ferrovia denominato Nantasket Beach Branch, che veniva sinora esercitato a vapore.

La linea ha circa 11 km., è a due binari, quasi priva di pendenze, ma con curve considerevoli, e conta dieci stazioni. L'armamento elettrico venne fatto con una conduttura aerea, di rame, della sezione di circa 155 mm<sup>2</sup>, sostenuta da pali alti 10 m. che si seguono a distanza di 20 m. nelle curve, e 30 m. nei rettili. Questa conduttura viene alimentata per mezzo di feeder da una stazione generatrice della capacità di 1000 kw.; in essa sono impiantate due dinamo G. E. a dieci poli, sullo stesso albero di 2 motrici Greene, e otto caldaie di 185 HP ciascuna.

La f. e. m. di distribuzione è 600 volt sui motori, e 700 volt alla stazione.

Ogni treno si compone di un certo numero di vetture ordinarie, rimorchiate da una vettura motrice; le vetture motrici sono tutte a due carrelli girevoli, e alcune di esse sono armate con due, altre con quattro motori G. E. 2000, come quelli usati in Chicago. È adottato il sistema di comando della velocità per mezzo della inserzione in serie e parallelo; ogni vettura motrice ha doppi apparecchi di manovra, per poter procedere in entrambi i sensi, ed è fornita di freni ad aria compressa.

Le prove fatte su questa linea riuscirono del più grande interesse; l'ultimo giorno di esperimento, per dimostrare fin dove arrivava la

potenzialità dell'impianto, furono attaccati a una vettura motrice trenta vagoni carichi di ghiaia, e il treno partì senza sforzo, percorrendo la linea con la velocità di 74 km. per ora. I treni normali di tre vetture circolano invece con una velocità di corsa di 80 km.

A queste velocità elevate si provarono peraltro difficoltà nel mantenere la comunicazione con la conduttura aerea; l'apparecchio di contatto saltava via facilmente dal filo nel passare sotto agli attacchi; ciò dimostra, come era d'altra parte facilmente prevedibile, la necessità di far corrispondere la conduttura immediatamente sopra al cielo delle carrozze, invece che a una considerevole altezza sul medesimo, come vien fatto, sotto altre circostanze, nelle tramvie urbane.

Questi inconvenienti secondari non erano tali da ostacolare l'esercizio della linea, che fu aperta al pubblico, il 30 giugno 1895.

Auguriamoci che venga presto seguito l'esempio anche in Europa.

La convenienza della sostituzione della trazione elettrica a quella della locomotiva a vapore sulle strade ferrate può risultare diversa secondochè si prende a considerare il trasporto delle merci oppure quello dei viaggiatori.

Si aumentano gli introiti del servizio viaggiatori, accrescendo la velocità dei treni, e suddividendone la capacità in modo da realizzare un maggior numero di partenze a più brevi intervalli. Queste condizioni coincidono col maggior vantaggio del pubblico viaggiante, ed è in questo senso che va continuamente modificandosi il servizio per una delle Amministrazioni illuminate.

Ora in una ferrovia elettrica l'economia appunto è tanto maggiore quanto più la suddivisione dei treni è portata all'estremo.

La trazione a vapore esige invece per il funzionamento più economico il raggruppamento del traffico nel minor numero possibile di treni, e quindi risulta evidentemente assai più appropriata al servizio merci. E poichè il traffico delle merci è in generale il più importante dei due sulle strade ferrate, contribuendo esso da solo ai due terzi od ai tre quarti dei proventi lordi totali, non sembra che per ora si dimostri economicamente la sostituzione pura e semplice della trazione elettrica a quella a vapore.

Dove vi sono linee a quattro binari conviene riservarne due alla circolazione dei treni rapidi colla trazione elettrica, mentre sugli altri due circolerebbero i treni merci rimorchiati dal vapore, ed i treni passeggeri locali, i quali ultimi facendo il servizio di tutte le stazioni intermedie e non avendo una velocità molto diversa dai treni merci, senza arrecare disturbo a questi ultimi potranno benissimo essere fatti numerosi ed attivati dalla elettricità.

(L'Elettricista).

**Formidabile scoppio di caldaie alle fucine di Redcar, presso Middlesbrough.** — Questo stabilimento costruito nel 1872 contiene quattro alti forni capaci di produrre 9000 tonn. di ghisa al mese, ed occupa circa 200 operai. Il 14 giugno verso le ore 21, nell'istante in cui si terminava la fondita, uno scoppio terribile distrusse le caldaie, uccidendo sul colpo 3 operai e ferendone 17, dei quali 7 in seguito morirono. Vi era una batteria di 15 caldaie, aventi ciascuna m. 1,37 di diametro e m. 19,5 di lunghezza, le quali somministravano il vapore alle macchine soffianti ed ai montacarichi. Dodici caldaie esplosero proiettando i pezzi, alcuni dei quali del peso di parecchie tonnellate, alla distanza di 225 m.

Delle tre caldaie che non esplosero, una sola è rimasta al posto; queste tre caldaie erano nuove, non avendo che 2 mesi di servizio. Tutte le altre erano state recentemente visitate dagli ispettori dell'associazione di sorveglianza e trovate in buono stato.

Esse erano caldaie cilindriche riscaldate esternamente coi gas degli alti forni. Egli è difficile dire se le caldaie siano scoppiate tutte simultaneamente o l'una dopo l'altra. Da qualche testimonianza risulterebbe che siasi udito una serie rapida di esplosioni.

Un fatto assai curioso è che quasi tutte le caldaie si ruppero presso a poco allo stesso punto, alla terza cucitura circolare a partire da una estremità.

Il primo esame delle lamiere non ha dato a vedere che vi fosse stata mancanza d'acqua; quindi si è supposto che la catastrofe potesse essere dovuta ad uno scoppio di gas nei condotti; questa spiegazione trovava il suo appoggio nel grande scompiglio delle murature, che non poteva essere prodotto da una esplosione di vapore propriamente detta. Tuttavia il perito dell'inchiesta ha creduto di trovare tracce di sovrariscaldamento sui rottami di una caldaia, e ne concluse che una delle caldaie sia scoppiata per causa di mancanza d'acqua, e che l'esplosione abbia agionato la rottura delle altre caldaie per scuotimento e sollevamento. Il giuri pure, ammettendo tale spiegazione, escluse che vi fosse stata negligenza imputabile al personale, ed ammise che il materiale era in buono stato, dichiarando così affatto accidentale la causa dello scoppio.

(Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France).

**Il crine vegetale italiano.** — È notorio che per lungo tempo la Tunisia e più ancora l'Algeria furono considerati come i paesi grandi fornitori di crine vegetale.

Qualcosa si faceva in questo articolo, anche in Sicilia e nel penitenziario di Alghero (Sardegna), ma era produzione di poco momento e forse poco apprezzata.

Siamo ora lieti di rilevare da una relazione della Camera di Commercio di Sassari, che quel lavoro, che ivi si faceva finora per opera dei carcerati, è passato nelle mani dei lavoratori liberi, venendo a costituire una nuova industria pel paese; la cui produzione nel 1894 è stata di 20,000 quintali.

Settemila di essi furono esportati (forse s'intende per l'Italia), altri settemila trovarono impiego nell'Isola, e semilila formano stock.

Segnaliamo all'Italia la nuova industria, augurando che non le manchi il favore (vale a dire la richiesta) occorrente per farla prosperare.

Sono almeno 12 a 15 mila quintali di crine vegetale che occorrono normalmente all'Italia: vediamo di andarli a prendere tutti in Sardegna, aiutando così la popolazione di una parte d'Italia che merita tutti i riguardi.

(Bollettino delle finanze).

## BIBLIOGRAFIA

### I.

**Sulla costruzione di una volta obliqua ad apparecchio elicoidale.** — Note di RODOLFO GAMBERALE, Ingegnere del Genio Civile. — Op. in-8°, di pag. 59 ed 1 tavola litogr. — Estr. dal *Giornale del Genio Civile*, Roma, 1894.

Veniamo alquanto in ritardo a parlare di questa pregevole pubblicazione, la quale anzi è stata nel maggio ultimo scorso premiata dal Ministero dei Lavori Pubblici, come una delle migliori Memorie comparse nel *Giornale del Genio Civile*, durante il 1894.

Chiediamo venia all'autore del ritardo per noi involontario, lieti d'altronde che l'argomento trattato non sia di quelli che possano invecchiare.

Il caso pratico di volta obliqua che l'autore ha preso a contemplare non è per verità dei più straordinari. Trattasi dell'apparecchio elicoidale di un'arcata la cui sezione retta non ha che 5 metri di luce ed il quinto di saetta, lunga metri 5,21 fra le due fronti, colla spessorezza uniforme di 5 teste di mattone. Ma nondimeno lo scopo che l'A. si propone è anche più generale ed essenzialmente pratico.

Tutti sappiamo come gli autori che trattano delle volte oblique in apparecchio elicoidale raccomandino di limitare l'uso dei mattoni al corpo interno della volta, facendo le due fronti ed i cuscinetti d'imposta in pietra da taglio, o quanto meno limitandosi a fare in pietra da taglio i quattro cuscinetti d'angolo.

Ora per qualche circostanza speciale di cui non è dato sempre di valutare tutta l'importanza, quale la difficoltà di poter provvedere pietra da taglio adatta e resistente ai geli, nella costruzione del primo tronco della ferrovia Fabriano-S. Arcangelo sarebbe stato dalla Superiorità di dispo che tutte le volte oblique dovessero essere costruite completamente ed esclusivamente coi mattoni.

Colla facilità colla quale al dì d'oggi si possono lavorare alle cave quattro cuscinetti d'angolo, e colla piccolezza delle tariffe ferroviarie, è certo che nella maggior parte dei casi il maggior tempo che può esigere il taglio dei mattoni alle imposte può non essere superato dalla differenza di spesa per la sostituzione dei cuscinetti in pietra da taglio lungo le imposte.

Ed anzi colla facilità colla quale oggidì si costruiscono persino intere arcate di gran luce con getto di calcestruzzo, non sarebbe neppure molto costoso di costruire in pietra artificiale, con brecciamme, ghiaietta, sabbia e buona malta di cemento, i cuscinetti medesimi sul posto. E ad ogni modo colla possibilità e convenienza di modellare in argilla e cuocere alla fornace cuscinetti d'imposta tutti uguali, debbono suppersi per vero dire rarissimi i casi in cui sia da ritenersi più economico di procedere al taglio dei mattoni.

Nel caso pratico speciale del piccolo apparecchio preso a contemplare dall'ing. Gamberale, questi avrebbe constatato che per il taglio dei mattoni da impiegarsi sulle fronti non sarebbero occorse che 16 giornate circa da muratore; una ventina circa ne occorsero per il taglio dei mattoni alle imposte; onde l'autore credette di trarne anche a posteriori la conferma della convenienza per il caso trattato di impiegare esclusivamente i mattoni.

La Memoria è condotta con semplicità e chiarezza e può benissimo servire di guida per qualsiasi altro apparecchio di maggiore importanza.

Così, per esempio, l'ing. Gamberale osserva che gli autori i quali trattano dei ponti obliqui consigliano di adagiare sul manto un regolo flessibile ed abbastanza lungo facendolo passare per due punti, uno sulla generatrice d'imposta e l'altro sulla generatrice di chiave di una stessa elica, per segnare sul manto tutte le eliche che sono tracce dei giunti. Ora in pratica avviene che il regolo avente una sufficiente lunghezza, oltre i 6 metri, ad es., non si adagia sul manto perfettamente secondo l'elica che si vuol tracciare. Oltrechè i regoli lunghi e sottili esposti all'umido ed al sole non si mantengono rettilinei e si torcono facilmente, onde si hanno nel tracciato delle eliche spostamenti di parecchi centimetri.

A dir vero noi abbiamo sempre ritenuto che l'uso del regolo dovesse essere limitato al rigaggio seguendo la guida di una cordicella tesa fra i due punti estremi, essendo l'elica una curva di equilibrio determinata sul cilindro da due soli punti, nei quali si fa passare la cordicella tesa sull'armatura della volta. Il rigaggio può farsi allora a più riprese e non richiede più regoli di eccessiva lunghezza e di precisione non sufficiente.

Ad ogni modo è sempre utile, massime in arcate di luci considerevoli, lo aver punti di guida intermedi, ed a ciò giova moltissimo il tracciato dell'elica trasversale che passa per il punto di chiave della linea di intradesso frontale, da cui si può partire per segnare sulle generatrici i punti comuni alle eliche di giunto longitudinali e trasversali. Ora l'ingegnere Gamberale non si accontenta della soluzione grafica, a dir vero semplicissima, per dedurne gli elementi numerici occorrenti al tracciato di tali eliche, ma insegna ad ottenere con non meno semplici calcoli trigonometrici la determinazione analitica per ascisse ed ordinate dei medesimi punti.

Interessantissime del pari sono le formole con cui vengono dall'autore determinati per ascisse ed ordinate i punti della curva intersezione della superficie elicoidale dei giunti longitudinali col piano di fronte.

Queste formole servono pure a determinare analiticamente gli elementi delle facce frontali dei quattro cuscinetti d'angolo, sebbene sia più spedito e sufficientemente esatto per la pratica il disegnare nella scala di  $\frac{1}{5}$  o di un  $\frac{1}{2}$  del vero un cuscinetto doppio e sezionarlo a metà col piano di fronte deducendo graficamente dalla pianta e dalla elevazione anche le dimensioni degli stessi elementi della faccia comune.

Terminiamo ringraziando vivamente l'ing. Gamberale di aver chiamata la nostra attenzione su questa sua Memoria che riconosciamo pratica ed importante, e che raccomandiamo ai giovani Ingegneri che fossero incaricati di dirigere o sorvegliare la costruzione di arcate oblique.

G. SACHERI.

## II.

**Caldaje e macchine a vapore.** — Teoria, descrizione, costruzione, esercizio. Breve corso elementare, teorico pratico ad uso degli Istituti Tecnici ed Industriali delle Scuole di Arti meccaniche dei costruttori e capi officine, dei macchinisti, dei periti meccanici, dei conduttori ed utenti di caldaie a vapore, per l'ing. LUIGI VITTORIO ROSSI. — Parte prima. *Caldaje.* — Op. in 8°, di pag. 407 con atlante di 24 tavole. — Padova 1895. Prezzo lire 15.

Il libro dell'ing. L. Rossi, dedicato a tutti coloro che si occupano di apparecchi a vapore, tratta nella prima parte, finora pubblicata, di tutto quanto si riferisce alla costruzione ed all'esercizio delle caldaie a vapore. È diviso in quattro capitoli.

Nel primo sono riassunti i principi e le leggi fondamentali della fisica applicata, relativi alle proprietà dei gaz e dei vapori, alla trasmissione e propagazione del calore; vengono esaminati i combustibili, la loro utilizzazione pratica ed il modo di procedere alla loro analisi. Per meglio chiarire le cose esposte l'autore rappresentò graficamente alcune delle Leggi relative alle proprietà del vapor acqueo ed alla trasmissione del calore, e terminò queste nozioni generali con un'appendice, dove, per mezzo di opportuni esercizi, si rendono facili le applicazioni delle formole ai casi che comunemente occorrono.

Il secondo capitolo comprende la classificazione e la descrizione dei generatori di vapore e quella dei loro accessori. Si incomincia da quanto si riferisce al forno, alla graticola, al camino, ai condotti del fumo, agli accessori necessari e prescritti dalla legge per la sicurezza, l'alimentazione e la sorveglianza del funzionamento di un generatore di vapore; sono accennati i metodi di depurazione preventiva delle acque da introdursi nella caldaia, e quanto riguarda la pulizia, il tiraggio, le tubazioni dell'acqua e del vapore.

Segue la descrizione particolareggiata dei vari tipi di caldaie, classificati a seconda delle loro forme e condizioni d'impianto; sono esaminati dal lato dei vantaggi che presentano i sistemi più comuni delle caldaie ed i casi in cui conviene adottare un sistema piuttosto che un altro, le disposizioni d'impianto diverse in relazione ai luoghi ove conviene sieno impiantate.

Accennato brevemente, nel terzo capitolo, ai principi generali della resistenza dei materiali, ai metalli adoperati nella costruzione delle caldaie a vapore ed alle prove che si fanno su di essi per riconoscerne

le qualità, si passa al calcolo delle dimensioni e spessori da darsi alle diverse parti del generatore ed alle unioni loro. Le formole e le tabelle citate sono quelle recentemente adottate nei congressi di Ingegneri e l'autore riporta le considerazioni che decisero l'abbandono delle antiche formole empiriche. Questo capitolo deve aver costato molta fatica all'egregio autore, per la grande quantità di norme e di dati pratici che vi ha saputo condensare.

Il capitolo termina con gli articoli del regolamento governativo italiano circa la costruzione delle caldaie e dei loro accessori, in esecuzione della Legge di P. S. 23 dicembre 1888.

L'ultimo capitolo comprende le norme pratiche per assicurare il buon funzionamento e la lunga conservazione alle caldaie, ed è quello che veramente può venire più degli altri attentamente studiato dai fuochisti e proprietari di caldaie. La condotta del fuoco e quella dell'alimentazione; la ripulitura del generatore; l'esame delle incrostazioni e dei difetti che la caldaia può presentare, derivanti dall'uso, da cattiva manutenzione, da guasti provenienti dal materiale impiegato o da cattiva sorveglianza; le cause delle esplosioni ed i loro effetti, i danni che ne derivano per l'industriale e l'operaio, la frequenza di questi tristi accidenti, il modo di prevenirli; i guasti che si producono agli accessori ed il modo di ripararli prontamente mentre funzionano; tutto insomma quanto può dirsi circa l'economico e sicuro funzionamento della caldaia, forma oggetto di questa ultima parte del volume che termina coll'esame delle leggi che nei principali paesi d'Europa regolano l'esercizio delle caldaie.

Il libro è scritto con grande chiarezza, in forma facile e non senza certa eleganza; ed è accompagnato da un atlante di 24 tavole assai ben disegnate; esso riassume quanto di meglio fu pubblicato fino ad oggi sulla materia e contiene osservazioni e consigli speciali molto opportuni.

Particolarmente dedicato agli allievi delle scuole professionali e destinato a completare, in ossequio alle leggi vigenti, la scarsa istruzione speciale di coloro che posseggono o conducono caldaie a vapore, crediamo ed auguriamo possa avere buon successo quale certamente si merita l'autore che fece opera utilissima per diffondere sempre più quei principii e quelle regole pratiche che, in avvenire, varranno non solo a rendere meno frequenti i disgraziati accidenti, ma a convincere i nostri industriali ed i nostri conduttori di caldaie della facilità colla quale si possono ottenere grandi risparmi solo col curare attentamente la manutenzione e l'esercizio dei generatori di vapore.

L. DÉCUGIS.

## SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI ANNESA ALLA R. UNIVERSITÀ DI PADOVA

### Elenco degli Ingegneri Civili

proclamati alla fine dell'anno scolastico 1894-95 (agosto 1895).

1. Angheden Rodolfo, di Francesco, da Oneglia (Porto Maurizio).
2. Astolfi Luigi, di Ferdinando, da Padova.
3. Astorri Carlo, di Tito, da Borgonovo (Piacenza).
4. Azzolini Adolfo, di Giov. Batt., da Ficarolo (Rovigo).
5. Bellondini Bruno, di Antonio, da Padova.
6. Benciolini Giulio, del fu Carlo, da Verona.
7. Bonamico Giulio Cesare, di Giuseppe, da Verona.
8. Candeo Lorenzo, di Silvio, da Padova.
9. Canella Guido, di Vincenzo, da Venezia.
10. Canor Gino, di Antonio, da Casarsa (Udine).
11. Caravaggio Ugo, di Evandro, da Mantova.
12. Casanova Carlo, di Andrea, da Crema (Cremona).
13. Cattaneo Giulio, di Gaetano, da Padova.
14. Cavazzocca Adolfo, di Bartolomeo, da Verona.
15. Coen Giorgio Silvio, di Giulio, da Venezia.
16. Della Giusta Fausto, di Pietro, da Martignacco (Udine).
17. De Longhi Pier Noè, di Pietro, da Verona.
18. Del Favero Arcangelo, di Giovanni, da Vittorio (Treviso).
19. Gagliardo Alfredo, di Leopoldo, da Este (Padova).
20. Galli Guido, di Roberto, da Venezia.
21. Gianfilippi Augusto, di Guglielmo, da Bardolino (Verona).
22. Gobatti Tommaso, di Pietro, da Rovigo.
23. Guiotto Fausto, di Pietro, da Cavazuccherina (Venezia).
24. Letter Giovanni, di Carlo, da Schio (Vicenza).
25. Luini Federico, di Carlo, da Milano.
26. Montau Luigi Luciano, di Marc'Antonio, da Urbana (Padova).
27. Paola Arturo Ilario, di Antonio, da Asti (Alessandria).
28. Poletta Umberto, di Giacomo, da Padova.
29. Pozzani Aldo, di Clodoveo, da Cerea (Verona).
30. Ravà Giuseppe, di Graziano, da Venezia.
31. Salvadori Ricciardo, di Pietro, da Mantova.
32. Strada Achille, di Erode, da Rosate (Milano).
33. Sullam Costante Guido, di Benedetto, da Venezia.
34. Vianello Eugenio, di Luigi, da Padova.