

501

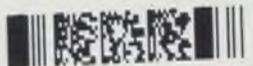
2 1/2 / 1/2

SINDACATO FASCISTA INGEGNERI
TORINO

SO
TO
E DEGLI ARCHIT.



SBPT - 000136813



BELTRUTTI LUIGI
LEGATORE DI LIBRI
Via Urbano Rattazzi 40
TORINO

626(2)CVR

33

B. IV. 11.

241

260/FA

33.241

V. 1 - 1010

33

241

*All'onorevole Società degli Ingegneri e degli Architetti
2° Torino
maggiò dell'architetto,*

APPENDICE

ALL'

ARTE DI FABBRICARE

CORSO COMPLETO DI ISTITUZIONI TEORICO-PRACTICHE

PER GL'INGEGNERI, PER GLI ARCHITETTI, PER I PERITI IN COSTRUZIONE
E PER I PERITI MISURATORI

VOLUME TERZO

TESTO



260A1



ROTTURA E LAVORI DI RIPARAZIONE
DELLA
GALLERIA DEI GIOVI

e conseguenze
per la determinazione delle grossezze dei rivestimenti
delle gallerie in terreni mobili

COSTRUZIONE
DELLE GALLERIE IN TERRENI MOBILI

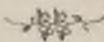
COSTRUZIONE
DELLE GRANDI GALLERIE A FORO CIECO

PERFORATRICI A PERCUSSIONE

MANEGGI
pel
SERVIZIO DEI POZZI
nella costruzione delle gallerie

per
CURIONI GIOVANNI

Professore di costruzioni civili, stradali ed idrauliche nella R. Scuola d'applicazione
per gl'Ingegneri di Torino.



*13 di
G. S. Curioni
Torino*

TORINO
Presso **AUGUSTO FEDERICO NEGRO** Editore
4, via Alfieri, 4

1877

Proprietà letteraria ed artistica, con riserva della traduzione



STABILIMENTO TIPOGRAFICO E DI STEREOPIA A. F. NEGRO
4, Via Alferi, 4.

ROTTURA, LAVORI DI RIPARAZIONE

DELLA

GALLERIA DEI GIOVI

E CONSEGUENZE

PER LA DETERMINAZIONE DELLE GROSSEZZE DEI RIVESTIMENTI

DELLE GALLERIE IN TERRENI MOBILI

Tre distinte note che presentammo alla Reale Accademia delle Scienze di Torino, la prima nella seduta del 16 novembre 1873 e le altre due nelle sedute del 25 gennaio e del 12 aprile 1874, coi titoli, *Sulla rottura e sui lavori di riparazione della Galleria dei Giovi* — *Sulla determinazione delle grossezze dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili* — *Ricerche teoriche sulla stabilità del primitivo e del nuovo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi rovinato nel principio dell'anno 1873*, ebbero l'onore dell'inserzione nel volume IX degli Atti dell'Accademia stessa ed un favorevole accoglimento da parte degl'Ingegneri pratici.

Gli esemplari estratti dagli Atti suddetti in breve furono esauriti, ed è per soddisfare alle molte e reiterate istanze stateci fatte che ci siamo decisi di raccogliere sotto un sol titolo gli argomenti a cui si riferiscono le indicate tre note, e di farne oggetto di pubblicazione in questa nostra *Appendice all'arte di fabbricare*, con quelle sole varianti motivate dall'aver raccolto in uno tre distinti lavori.

Al metodo numerico per verificare la stabilità dei rivestimenti

delle gallerie in terreni mobili, si aggiungerà un metodo grafico, il quale, mentre dà un'approssimazione più che sufficiente nelle determinazioni cui intendiamo di applicarlo, permette di ottenere i risultamenti finali colla massima facilità e speditezza.

CAPITOLO I.

Rottura e lavori di riparazione della Galleria dei Giovi.

1. **Assunto di questo capitolo.** — Innumerevoli sono le gallerie state aperte dall'epoca delle prime costruzioni di strade ferrate fino ai nostri tempi; ed è singolare come non siansi ancora formulate regole certe e norme sicure per la determinazione pratica delle grossezze dei loro rivestimenti. Pochi precetti generalissimi hanno finora servito di guida nel determinare le indicate grossezze, e questi precetti vagamente stabiliscono: che si può tralasciare ogni rivestimento alle gallerie entro roccia dura, non alterabile in contatto dell'aria; che è necessario un sottile rivestimento murale, con grossezza variabile da metri 0,25 a metri 0,40, per le gallerie entro roccia soggetta a sfaldarsi in contatto dell'aria; e finalmente che è indispensabile un robusto rivestimento murale, con grossezza non minore di metri 0,50, per le gallerie entro terra. Il limite superiore dell'indicata grossezza da nessuno venne definito per una galleria da aprirsi in terreni mobili, in terreni soggetti a rigonfiare in contatto dell'acqua; ed i costruttori unicamente si limitano a dire che essa deve risultare tanto più grande, quanto più le terre si mostrano facili a scoscendere nello scavarle, quanto più grande è la loro mobilità, e quanto più energiche saranno per manifestarsi le loro spinte contro il rivestimento destinato a conservare alla galleria la forma e le dimensioni richieste dalla sua destinazione.

Per la costruzione delle strade ferrate italiane attraversanti gli Apennini ed alcuni dei loro contrafforti, fu imperiosa necessità di aprire molte gallerie in terreni mobili, ed un rivestimento di buona muratura colla ragguardevole grossezza di metri 1,50, foggiato in modo da essere un circolo la sezione trasversale del vano interno,

si riconobbe insufficiente per alcune di esse. Le forze, contro le quali il costruttore deve lottare per aprire e mantenere una galleria in terreni mobili, sono di straordinaria potenza; ed è ormai provato che la loro azione, in gran parte latente all'atto dell'esecuzione, al sopravvenire di cause imprevedute può manifestarsi con tanta energia da compromettere la sicurezza dei rivestimenti meglio costrutti, da schiacciare i materiali più resistenti, e da produrre rovine in gallerie già da qualche tempo ultimate, non manifestanti segni di apprezzabili degradazioni e giudicate di non dubbia stabilità.

L'imponente frana e la conseguente rottura, avvenute nel giorno 9 gennaio dell'anno 1873 nella grande Galleria dei Giovi sulla ferrovia Torino-Genova, costituiscono un fatto il quale, mentre mette in evidenza quanto funeste possono essere le terre mobili alle gallerie in esse praticate, desta le più serie apprensioni sull'avvenire e sulla sicurezza di tutte quelle che trovansi in analoghe condizioni. Il problema dell'aprimiento di gallerie entro sostanze terrose è della più alta importanza; la sua risoluzione colle norme generalissime che vennero indicate costituisce un procedimento pericoloso; ed importa che il costruttore sappia rendersi conto delle azioni massime che le terre saranno per esercitare contro i rivestimenti di tali gallerie, per assegnare ad essi dimensioni convenienti e per assicurarsi della loro durata e della loro stabilità.

La risoluzione rigorosa del problema presenta difficoltà serie e forse insuperabili, sia perchè non si conosce come realmente si comporta nelle intime sue parti una massa di terra, allorquando trovasi in procinto di scoscendere; sia ancora perchè non è ben noto il modo di resistere dei rivestimenti delle gallerie. Comunque sia la cosa però, con tutto l'impegno è d'uopo tentare la risoluzione dell'arduo ed importante problema, ed approfittare dei fatti che ci è permesso osservare nelle deformazioni e nella rottura di gallerie onde trarre quelle informazioni, quelle induzioni e quei lumi che possono servire a porre ipotesi non lungi dal vero sul modo di comportarsi delle terre e sul modo di resistere dei loro rivestimenti. Dagli effetti che si verificano negli sgraziati avvenimenti di gallerie minaccianti rovina, conviene procurare di risalire alle cause efficienti, onde poi vedere se è possibile formulare una teoria, che in qualche modo possa venire in aiuto dell'ingegnere costruttore nel progettare e far eseguire passaggi entro sostanze terrose; e ad un tale scopo tende l'esposto in questo capitolo, nel quale ci propo-

niamo di far conoscere: come venne primitivamente progettata la Galleria dei Giovi; quali deformazioni presentò dopo la sua costruzione; come avvenne la rottura nel gennaio dell'anno 1873; quali furono le operazioni di ristauro e quali i risultamenti da esse ottenuti; quali furono le cause probabili dello sgraziato avvenimento; e finalmente quali ipotesi si potrebbero ammettere sul modo di comportarsi delle terre fra cui le gallerie trovansi scavate, e sul modo di resistere dei loro rivestimenti.

2. Dimensioni principali e struttura della Galleria dei Giovi.

— La Galleria dei Giovi è la maggiore fra quelle della ferrovia Torino-Genova, si trova presso Busalla, fra le due stazioni di Busalla e Pontedecimo, all'origine del gran piano inclinato che discende verso Genova, ed ha andamento rettilineo da nord a sud. La sua lunghezza è di metri 3264,92, e la sua pendenza raggiunge l'alto imite del 28,80 per mille.

Questa galleria, dovendo servire per una ferrovia con due binari, presenta nel suo vano una sezione trasversale con dimensioni piuttosto considerevoli. La larghezza massima AB (*Fig. 1 nella scala dell' $\frac{1}{100}$*), la quale si trova a metri 1,90 al di sopra della retta CD , che corrisponde al livello della superficie superiore delle rotaie, è di metri 8; e si ha una mezza circonferenza di circolo per direttrice AEB della superficie dell'intradosso del vólto. Le facce interne dei piedritti sono superficie cilindriche aventi per direttrici gli archi circolari AC e BD ; i centri di questi archi sono in O' ed O'' sui prolungamenti di AB ; i loro raggi sono eguali e di metri 10,10. L'altezza massima \overline{ME} della galleria al di sopra del livello dei regoli risulta di metri 5,90. Nelle fronti però quest'altezza è di metri 6,90 e va gradatamente diminuendo finchè raggiunge la detta altezza di metri 5,90 nella sezione che dista di metri 18,10 dalla fronte di ciascun imbocco.

Il rivestimento della galleria fu progettato ed eseguito colla grossezza di metri 0,90; i piedritti, ingrossandosi al loro piede, presentano i marciapiedi CF e DG situati al livello delle rotaie ed aventi la larghezza di metri 0,70. Un arco rovescio si trova fra l'uno e l'altro piedritto; la corda \overline{HI} di quest'arco giace a metri 0,35 sotto i detti marciapiedi; è di metri 0,65 la sua saetta \overline{KL} , e di metri 0,70 la sua ordinaria grossezza.

La parte più bassa dell'arco rovescio, trovandosi coperta da una vólta, funziona come canale coperto. È di metri 0,90 la massima

larghezza interna $\overline{a'b'}$ di questo canale, di metri 0,45 la sua altezza massima $\overline{c'L}$ e di metri 0,15 la grossezza del vólto che lo copre.

In quanto alla materiale struttura della Galleria dei Giovi, si deve dire che essa venne eseguita in modo inappuntabile. Sono scelti e molto resistenti i mattoni in essa impiegati, tenacissime le malte, e la mano d'opera non poteva essere maggiormente diligentata.

3. Deformazioni state accertate fin dal settembre dell'anno 1869 e relative conseguenze. — Fin dal settembre dell'anno 1869 erasi osservato che la Galleria dei Giovi manifestava alcune sensibili deformazioni presso l'imbocco sud, ossia presso l'imbocco più basso, ed a circa 77 metri di distanza dalla fronte dell'imbocco medesimo. La lunghezza della parte maggiormente deformata era di circa 16 metri, e, rilevata una sezione trasversale verso il mezzo di questa parte, si trovò che la linea direttrice della superficie interna della galleria non era più la curva primitiva CAEBD (*Fig. 2 nella scala dell' $\frac{1}{100}$*), ma sibbene un'altra curva CA'EB'D. Quest'ultima curva aveva di comune colla curva primitiva i due punti estremi C e D, il punto E situato sull'asse verticale della sezione primitiva della galleria ed un punto N posto dalla parte del piedritto di levante (ossia dalla parte del piedritto a sinistra di chi discende in galleria) sul raggio che fa angolo di circa 30° coll'orizzontale OB; si trovava sotto la curva primitiva fra C ed E; passava sopra fra E ed N; e di nuovo si portava sotto fra N e D. Tra questi ultimi due punti però le citate curve si scostavano così poco da potersi esse ritenere come assieme coincidenti. Nelle basi dei piedritti e nell'arco rovescio non eransi riscontrate le benchè minime tracce di deformazioni.

Volendosi dedurre dai citati fenomeni stati accertati nel settembre dell'anno 1869 le cause probabili da cui ebbero origine, sembra potersi conchiudere: che, per non essere la curva della sezione retta deformata simmetrica rispetto alla verticale EL, doveva il rivestimento trovarsi sotto l'azione di forze non simmetricamente disposte rispetto al piano verticale determinato dall'asse della galleria; che dalla parte del piedritto di levante ed al di sotto del giunto NN', per essere piccolissime le deformazioni avvenute da N in D, la galleria doveva essere addossata ad un terreno più resistente di quello della parte opposta; che dal lato di ponente, per essersi verificata un'assai ragguardevole rientranza verso le reni del vólto ed un sollevamento appena al di là della chiave, doveva il rivestimento sen-

tire non solo un'azione verticale, ma anche un'azione orizzontale assai potente.

4. Deformazioni verificatesi dopo il settembre dell'anno 1869, rottura avvenuta nel gennaio dell'anno 1873, fenomeni che la precedettero e relative conseguenze. — In seguito alle accennate deformazioni, quegli Ingegneri della Società dell'Alta Italia, cui incumbeva l'obbligo della manutenzione, continuamente tennero d'occhio la Galleria dei Giovi, ed esercitarono la più accurata sorveglianza sulla parte che aveva dato segni di degradazioni. Dal settembre del 1869 a tutto il dicembre del 1872 sempre si trovò che la deformazione non era totalmente cessata, ma non si ebbero mai allarmanti segni d'imminente rottura; e fu solo nel 1° gennaio dell'anno 1873 che si manifestarono i sintomi della prossima rovina.

La curva direttrice della superficie interna, passando sempre per gli estremi C e D (*Fig. 2*) della curva primitiva, erasi ridotta ad una linea CA'PQRB'D, intersecante quella corrispondente alle deformazioni state verificate nell'anno 1869 nei punti P ed R, e sensibilmente sovrappontendosi a quest'ultima da R in D. La precisa sezione retta della galleria, quale venne rilevata nel principio del gennaio dell'anno 1873, risulta dalla figura 3^a, disegnata nella scala dell' $\frac{1}{100}$, sulla quale sono anche marcate le quote relative alla determinazione dei principali punti della curva direttrice della superficie interna.

Poco prima della rottura del rivestimento si manifestarono alcune screpolature sulla mezza volta portata dal piedritto di ponente, e si riconobbe essere rispettivamente di metri 0,007, 0,017 e 0,005 le profondità di quelle corrispondenti ai punti *a*, *b* e *c*. Analogamente apparirono alcune screpolature sul mezzo volto portato dal piedritto di levante, e, misurata la loro profondità, si trovò essere rispettivamente di metri 0,005, 0,007, 0,005 e 0,002 quelle corrispondenti ai punti *d*, *e*, *f* e *g*. Sul rivestimento della parte di ponente ebbe luogo la screpolatura più profonda nel giunto che fa coll'orizzonte un angolo di circa 35°, e su quello della parte di levante si verificò questo fatto nel giunto inclinato di circa 32° coll'orizzonte, e quindi di poco al di sopra del giunto NN' (*Fig. 2*), il quale limita superiormente quella parte di rivestimento in cui non si manifestarono sensibili deformazioni. Contemporaneamente all'apparizione delle indicate screpolature (*Fig. 3*), si manifestò un altro ben importante fenomeno. Verso l'interno della galleria si trovarono schiacciati i

materiali del piedritto di ponente posti in CA"ST, non che quelli situati alla sommità del vólto in QVU. Questo schiacciamento poi ebbe luogo: nel piedritto per tutta la sua altezza e per una profondità di circa metri 0,18; nel vólto per una lunghezza di circa metri 0,90 per metà da una parte e per metà dall'altra parte della generatrice suprema dell'intradosso, e con una profondità crescente dagli estremi al mezzo, la quale raggiunse il valore massimo di metri 0,15.

Finalmente nel giorno 9 del gennaio dell'anno 1873 avvenne la rottura della Galleria dei Giovi per quel tratto lungo circa 16 metri, nel quale eransi rimarcati i primi segni di degradazione fino dal settembre dell'anno 1869. Il rivestimento compreso fra il giunto CX (*Fig. 5 nella scala dell'* $\frac{1}{200}$) situato al piede del piedritto di ponente, ed il giunto YZ del vólto, posto dalla parte del piedritto di levante ed inclinato all'orizzonte di circa 50°, rovinò dividendosi in vari pezzi con dimensioni assai differenti; e la frattura scagliosa e polverosa, che appariva sulle facce di alcuni di essi, ben indicava le enormi pressioni cui andarono soggetti mattoni e cementi prima dello sgraziato successo. Il rivestimento caduto ed un'enorme quantità di terra argillosa, rammollita dall'acqua e quasi ridotta allo stato di plasticità, riempirono il detto tratto di galleria; e per tal guisa, con incalcolabili danni pel commercio, tutto tacque laddove il continuo fischiar di locomotive e l'incessante rumoreggiare di treni attestavano la più energica attività di traffico. Superiormente alla parte rovinata si manifestò un notevole avvallamento, dal quale chiaramente appariva come erasi abbassata l'intera colonna di terra ad essa sovrastante. Nè l'indicato avvallamento estendevasi in larghezza alla sola distanza orizzontale fra i punti C ed Y, ma sibbene notevolmente si protendeva a dritta ed a sinistra del piano verticale definito dalla LW e dall'asse della galleria; che anzi, a ragguardevole distanza dall'indicato piano, si manifestarono nella collina alcuni crepacci, i quali hanno posto in evidenza come a grande distanza si estendesse la frana e come il movimento delle terre non si fosse limitato a quelle sovrastanti alla parte rovinata della galleria.

Siccome la rottura del rivestimento della galleria avvenne in seguito ad aumento delle deformazioni state accertate nell'anno 1869, sempre progredienti nel senso stesso in cui primitivamente si manifestarono, stanno le osservazioni già state fatte sul finire del

numero 3 relativamente alle cause efficienti delle accennate deformazioni, che anzi si può dire che queste stesse cause sono quelle che produssero la rottura. Sul modo poi con cui questa rottura avvenne, sembra potersi stabilire: che, a motivo dello schiacciamento di materiali, verificatosi presso la base del piedritto di ponente ed alla sommità del vólto, in queste località ebbero luogo le pressioni massime verso l'interno della galleria; che, per le screpolature state accertate sulle reni della vólta, tanto a dritta, quanto a sinistra, le pressioni massime all'estradosso del rivestimento ebbero luogo presso i giunti inclinati all'orizzonte da 35° a 32° ; che il rivestimento rovinato, prima di cadere, deve essersi diviso in tre parti I, II, III (*Fig. 4*) con cerniere di rotazione in α , β e γ ; che probabilmente furono prime a crollare le parti I e II, spinte all'interno dalla potente azione che contro di esse esercitavano le terre; che, per essere il giunto inferiore $\lambda\delta$ della parte III più alto dell'altro $e\hbar$, il quale fa coll'orizzonte l'angolo di 32° ed a cui corrisponde la massima screpolatura dalla parte del piedritto di levante, la detta parte III deve essere caduta, non incominciando a rotare intorno all'orizzontale situata sull'estradosso e proiettata in λ , ma dopo le parti I e II, o rotando intorno l'orizzontale rappresentata nel punto δ o scorrendo sul giunto $\delta\lambda$.

5. Condizioni del tronco di galleria rovinato nel gennaio dell'anno 1873, per rapporto al terreno in cui è scavata. — Descritti i fatti che precedettero e quelli che probabilmente accompagnarono la rottura della Galleria dei Giovi, conviene esaminare in quali condizioni trovavasi il tronco rovinato per rapporto alle diverse particolarità ed accidentalità del terreno in cui la galleria è scavata; e servono allo scopo la planimetria della località in cui avvenne la frana, il profilo longitudinale secondo l'asse della galleria ed alcuni profili trasversali.

Dalla planimetria, la quale si estende sull'asse della galleria dalla sezione che dista di metri 18,10 dall'imbocco sud, fino ad oltre 130 metri al di sopra dell'imbocco medesimo (*Fig. 7 nella scala dell' $\frac{1}{500}$*), dal profilo longitudinale del terreno e della galleria per la stessa lunghezza (*Fig. 8 nella scala dell' $\frac{1}{500}$*), e finalmente dai profili trasversali numerati da 1 a 16 (*Fig. 9 nella scala dell' $\frac{1}{1000}$*), risulta: che il terreno nel quale avvenne la frana si trova fra due

rigagnoli ed il torrente Riccò; che nella direzione della galleria il terreno presenta un declivio assai dolce; che nel senso trasversale il terreno presenta pure declivi poco pronunciati elevandosi verso ponente ed abbassandosi verso levante fino al letto del torrente indicato. A dritta del torrente si ha terra argillosa e roccia in decomposizione, a sinistra si trova pietra viva, la quale passa a distanza non tanto grande dal piedritto di levante della galleria. L'altezza della superficie del terreno sul punto culminante dell'estradosso del vólto in corrispondenza del mezzo del tronco di galleria rovinata era di metri 12,72.

Mettendo assieme tutte le circostanze risultanti dalla planimetria e dai profili, non che quanto rilevavasi da un attento esame della località, si può concludere: che il terreno sovrastante alla Galleria dei Giovi nel tratto in cui avvenne la rovina è argilloso e di quelli che, imbevuti d'acqua, acquistano uno stato pastoso e quasi si comportano come liquidi; che i due rigagnoli ed il torrente Riccò, fra cui questo terreno si trova come dentro un U, colle acque ch'essi portano, abbondanti in tempi di piogge continuate, contribuirono a rammollirlo ed a conferirgli lo stato pastoso e plastico, ed a renderlo mobile; che il movimento superficiale del terreno mediamente si manifestò nella direzione AB (*Fig. 7*); che le enormi pressioni esercitate dal terreno così modificato sul rivestimento della galleria devono essere state le cause dell'avvenuta disgrazia; e finalmente che l'esistenza della roccia lungo la sponda sinistra del detto torrente, la qual roccia sotto il letto di quest'ultimo deve avvicinarsi sempre più alla galleria a motivo della non avvenuta corrosione negli strati inferiori, ha dovuto contribuire a rendere stabile ed estraneo alla rovina il piedritto di levante con una parte del vólto da esso portato.

6. Progetto di ristauero del tronco di galleria rovinato nel gennaio dell'anno 1873. — Il progetto di rifacimento del tronco rovinato della Galleria dei Giovi venne studiato in modo da poter nel più breve tempo possibile riattivare il servizio sul binario posto dalla parte del piedritto di levante, collo scopo di ottenere nel nuovo rivestimento una resistenza maggiore di quella presentata dal primitivo, e ponendo i materiali più resistenti dove l'osservazione fece conoscere verificarsi le pressioni maggiori.

Per curva direttrice della superficie d'intradosso del vólto venne assunto l'arco circolare δEA (*Fig. 6 nella scala dell' $\frac{1}{200}$*), avente

il suo centro in O e di raggio eguale al raggio primitivo \overline{OB} , ossia di 4 metri. Continuando poi quest'arco da A in C' si ottenne in AC' la direttrice della superficie interna del piedritto di ponente.

La grossezza del nuovo rivestimento venne stabilita di metri 1,20; e si progettò un addentellato per congiungerlo al piede non rovinato del piedritto di ponente. In corrispondenza dei giunti stimati pericolosi si giudicò opportuno lo stabilimento di robusti cunei di pietra, disposti a tre a tre in modo che quello di mezzo di ciascuna terna abbracciasse l'intera grossezza del rivestimento, e che gli altri due si estendessero soltanto alla metà del rivestimento stesso. Di questi filari in pietra da taglio ne vennero progettati quattro: uno al piede del piedritto di ponente in E_1 , colle due pietre minori verso l'interno della galleria; un secondo in E_2 , a metri 2,20 sul piano d'imposta della vólta colle due pietre corte verso l'estradosso; un terzo in E_3 , alla chiave colle pietre minori verso l'intradosso; ed un quarto in E_4 , al di là della chiave all'altezza di metri 3,20 sul piano d'imposta colle due pietre più corte all'estradosso.

Siccome il torrente Riccò, continuamente corrodendo il terreno sulla sua sponda destra, erasi di molto approssimato al piano verticale determinato dall'asse della galleria, e siccome questa circostanza poteva riuscire dannosa, sia per la vicinanza dell'acqua alla terra che circonda la galleria, sia per la diminuzione di pressione sulla mezza vólta di levante della galleria stessa, si pensò: di progettare il trasporto del letto del detto torrente, come appare dalla figura 7; di rettilinearlo per un tratto compreso fra la 6^a e la 12^a sezione trasversale; di chiuderlo a destra contro un muro di riparo M (*Fig.* 6); e di tagliare la roccia che ne forma la sponda sinistra in modo da avere sul fondo la larghezza di 9 metri. L'altezza dell'indicato muro di riparo fu stabilita di 3 metri, di metri 2,60 la sua larghezza alla sommità, e di metri 3,20 la sua larghezza alla base, con una fondazione di calcestruzzo avente la larghezza di metri 3,80. Il fondo del torrente, dove venne fatto il rettifilo, fu ridotto ad una cunetta formata di pietre internate in uno strato di calcestruzzo ed avente la totale grossezza di metri 1,20 colla saetta di metri 0,60.

Per lo spazio N fra il muro di riparo M ed il terreno naturale fu progettato un riempimento con terra di riporto, e questo onde aumentare la pressione sul lato di levante della galleria, e contrastare così all'azione delle spinte esercitantesi sul lato di ponente. Qualora le terre continuassero a muoversi e producessero contro il muro M spinte così enormi da comprometterne la sicurezza, si co-

struirebbe un vólto V fra il detto muro e l'opposta roccia; su questo vólto si disporrebbe uno strato di terra per impedirne il sollevamento, e così si troverebbero assicurate l'esistenza del detto muro e la nuova inalveazione dell'indicato torrente.

Per facilitare l'estrazione dei materiali caduti in galleria, per far posto al collocamento delle armature necessarie a stabilire un binario nel più breve tempo possibile, per completare tutto l'armamento indispensabile per l'esecuzione del nuovo rivestimento senza essere eccessivamente disturbati dalla colonna di terra smossa, alta circa 12 metri, sovrastante al sito dei lavori, e finalmente per poter agevolare l'uscita del fumo delle locomotive quando sarebbesi dovuto lavorare con un binario in esercizio, assai opportunamente si progettò un pozzo con sezione orizzontale rettangolare, profondo circa 13 metri, lungo metri 5,50 circa nel senso dell'asse della galleria e largo circa 2 metri. Le pareti di questo pozzo, costituite, per un'altezza di circa 9 metri, da tavoloni mantenuti contro terra da robuste intelaiature di legno, avrebbero dato un recinto, dal quale con sicurezza si sarebbe potuto estrarre una parte della materia smossa sovrincumbente al sito dei lavori, ed efficacemente avrebbero contribuito ad impedire il manifestarsi di nuove frane durante l'esecuzione degli scavi in galleria.

Nella materiale esecuzione del ristauo si tenne presso a poco il seguente ordine. Si incominciò collo scavare dalla parte del piedritto di levante e col porre, a misura che lo scavo progrediva, le armature necessarie per lo stabilimento di un binario, onde attivare nel più breve tempo possibile il passaggio dei convogli in galleria; e, mentre si facevano questi primi lavori, si diede anche mano alla esecuzione del pozzo. Raggiunto l'importante scopo dell'esercizio della galleria, venne intrapresa l'estrazione delle terre rimanenti dalla parte del piedritto di ponente per un'altezza di quasi 5 metri al di sopra del livello delle rotaie; al posamento delle opportune armature per mantenere libero lo spazio che si andava sgombrando; al rifacimento del piedritto e del vólto fino all'ultima indicata altezza; a puntellamento della corrispondente muratura; agli scavi e puntellamenti onde dar luogo al compimento del vólto; alla posa delle centine ed all'ultimazione del vólto. Nè queste operazioni, che si facevano procedendo per anelli successivi, si limitarono alla sola parte caduta della galleria.

Nel rivestimento posto immediatamente a monte ed a valle di quest'ultima apparirono alcuni segni di allarmanti deformazioni, e

quindi si giudicò conveniente di ricostruirlo fin dove presentava tutte le garanzie di sicurezza, ossia per una lunghezza di circa 7 metri, tanto verso l'imbocco sud, quanto verso l'interno della galleria.

Oltre i lavori in galleria, vennero anche eseguiti quelli stati progettati per la nuova inalveazione del torrente Riccò, per la costruzione del muro di riparo M e per l'interro N. Estratti dal pozzo quei legnami d'armamento, che senza pericolo fu possibile estrarre, si riempì per quasi tutta la sua altezza di pietre spaccate, e superiormente si colmò l'avvallamento con terra di riporto (*Fig. 6, 7, 8 e 9*).

7. Esecuzione degli scavi, dei puntellamenti dei piedritti e del volto. — I più interessanti, fra tutti i lavori stati eseguiti per il ristauo della Galleria dei Giovi, furono quelli relativi agli scavi, ai puntellamenti ed all'esecuzione delle murature per la costruzione del piedritto e del volto; e le figure 10, 11, 12, 13 e 14, disegnate nella scala dell' $\frac{1}{100}$, mettono in evidenza le fasi per cui questi lavori passarono dal loro incominciamento fino alla loro ultimazione.

La figura 10, mediante le sezioni verticale ed orizzontale nelle direzioni UV ed XY, mette in evidenza come erano foggiate e come erano disposte le armature destinate a dare lo spazio necessario per l'esercizio di un binario. Queste armature consistevano in robusti telai di grossi e forti legnami posti a distanza di metri 1,50 da asse ad asse, formati coi ritti R, R' R'' e col cappello C, e foggiate in modo da poter stare fra essi la sagoma $abc' b'a'$, sotto la quale devono poter passare tutti i vagoni transitanti sulle ferrovie della Società dell'Alta Italia. Dalla parte di ponente si trovava contro questi telai un robusto tavolato t destinato a trattenere le terre e ad impedire i loro scoscendimenti laterali, ed altri analoghi tavolati si trovavano in t' per opporsi agli scoscendimenti verticali, sostenuti da robusti legnami rotondi e dai puntelli p .

La figura 11, ancora mediante due sezioni, una verticale secondo la retta UV e l'altra orizzontale secondo la spezzata XY, fa vedere quale disposizione venne adottata onde mantenere aperto lo scavo per far posto all'esecuzione del piedritto e di quella parte del volto che può essere costrutta senza centine. Lo scavo venne esteso fino alla superficie esterna del piedritto e del volto ed elevato fino al livello del cappello C dei telai stati posti per dar luogo al passaggio dei convogli; i franamenti laterali vennero arrestati coi tavolati t'' ,

e col tavolato t''' gli scoscendimenti verticali. Questi tavolati poi furono mantenuti contro terra da robusti puntellamenti fatti con legnami rotondi T, T', T'', T''' e T^v, disposti in sezioni della galleria differenti da quelle in cui già trovavansi i telai destinati a lasciar posto al passaggio dei convogli nel modo espresso dalla sezione orizzontale dell'ultima citata figura.

A misura che trovavasi ultimata tanta parte dell'ultimo descritto scavo quanta corrispondeva alla lunghezza che volevasi assegnare ad ogni anello murale, si dava principio alla costruzione di questo, incominciando dall'impianto del piedritto e salendo fino a quel giunto del vólto che trovavasi inclinato di 30° all'orizzonte. Di mano in mano che la muratura andava elevandosi, si toglievano i tavolati t' ed i relativi puntellamenti, assicurandola contro la spinta delle terre mediante il tavolato t^v (*Fig. 12*), appoggiato a robuste forme F, F' F'', mantenute da puntelli a ventaglio P, P' e P'' disposti come in sezione verticale, secondo la retta UV (*Fig. 11*), appare dalla figura 12, e corrispondenti alle stesse sezioni in cui trovavansi i telai destinati a permettere l'esercizio di un binario. Sopra questa parte eseguita del piedritto e del vólto venne elevato lo scavo, e per impedire gli scoscendimenti si pose il tavolato t^v sostenuto da legni rotondi e dai puntelli p' .

Lo scavo per far luogo alla costruzione del vólto venne in seguito elevato fino all'estradosso e prolungato per raggiungere quella parte di rivestimento che non ebbe ad essere danneggiato nella rovina. Le disposizioni che furono messe in pratica per impedire i franamenti di mano in mano che questo scavo progrediva, chiaramente risultano dalla figura 13, rappresentante la sezione prodotta dal piano verticale determinato dalla retta UV (*Fig. 11*). I tavolati t'' si mantennero contro le pareti dello scavo mediante robusti legnami rotondi sostenuti dai puntelli p' , p'' , p''' , p^{iv} e dallo stesso rivestimento non rovinato.

Fatto il posto per il compimento del vólto, si collocarono le centine c nel modo indicato dalla figura 14, la quale, in sezione verticale secondo il piano determinato dalla retta UV ed in proiezione orizzontale supponendo tolto quanto trovasi al di sopra dell'estradosso, rappresenta i lavori, in parte quando la muratura trovavasi elevata fino al giunto inclinato di 60° alla verticale, ed in parte quando la muratura era presso a raggiungere la chiave del vólto. A misura che la muratura andava elevandosi, si toglievano i puntelli

p' , p'' , p''' e p'''' , quelle tavole dei tavolati t'' e quei legnami di loro sostegno che era possibile ricuperare.

Tutti indistintamente i descritti lavori di scavi, di puntellamenti, di esecuzione del piedritto e del volto furono condotti con tanta maestria, e procedettero con tanta regolarità, che giammai si ebbe a lamentare il benchè minimo inconveniente; e la storia della loro esecuzione costituisce un'utilissima scuola per la risoluzione dell'importante problema pratico di ristaurare le gallerie e di rifare una parte del loro rivestimento senza interruzione dell'esercizio delle linee cui danno passaggio.

8. Conclusioni che si possono trarre dai fenomeni verificatisi prima e nella rottura della Galleria dei Giovi. — Considerando le deformazioni e la rottura verificatesi nella Galleria dei Giovi come una importante esperienza sul modo di comportarsi delle terre, che si rammolliscono in contatto dell'acqua, contro i rivestimenti di gallerie in esse praticate, e sul modo di resistere dei rivestimenti medesimi, sembra potersi conchiudere:

1° Che queste terre non agiscono per solo peso sui rivestimenti di gallerie in esse scavate, ma che producono contr'essi delle enormi spinte orizzontali;

2° Che si possono esse considerare quasi come liquidi di densità eguale a quella che corrisponde al loro stato di plasticità;

3° Che i rivestimenti di gallerie scavate entro queste terre hanno tendenza a deformarsi ed a rompersi per aprimento della chiave verso l'estradosso, per aprimento sulle reni verso l'intradosso e per aprimento verso terra alle basi dei piedritti.

Partendo da questi risultati d'esperienza, è possibile una teoria per la determinazione delle azioni massime che le terre, soggette a lasciarsi rammollire in contatto dell'acqua, saranno per esercitare sui rivestimenti di gallerie in esse praticate; per la ricerca del grado di stabilità che presentano gallerie in siffatte terre già costrutte; e per proporzionare i rivestimenti di gallerie da costruirsi all'importanza delle pressioni massime, cui potranno trovarsi sottoposti. Questa teoria, se non affatto inappuntabile dal lato teorico, risponde abbastanza bene alle esigenze della pratica, e si presenta come suscettiva di utili ed importanti applicazioni, tanto nel caso di una galleria in terre mobili, ma colle basi dei piedritti o coll'arco rovescio sopra un fondo resistente, quanto nel caso di una galleria con arco rovescio e completamente circondata da terre colanti. Le considerazioni svolte in questo lavoro si riferiscono soltanto al primo

caso, che è quello verificatosi nel tronco di Galleria dei Giovi, in cui si ebbe lo sgraziato avvenimento del 9 gennaio dell'anno 1873.

Intanto crediamo nostro dovere di rendere ben sentite grazie all'illustrissimo signor Commendatore Mattia Massa, Ingegnere capo della manutenzione e dei lavori presso la Società delle ferrovie dell'Alta Italia, il quale, nulla tralasciando per rendere interessante ed utile una visita sui lavori fatta nell'estate dell'anno 1873 in compagnia di una squadra di allievi della R. Scuola d'applicazione per gli Ingegneri in Torino, largheggiando in ischiarimenti e somministrando disegni, ci rese possibile di poter in qualche modo soddisfare al compito assuntoci. All'attività ed abilità non comune di questo distinto Ingegnere, ben meritamente conosciuto in Italia come uno dei più valenti costruttori di strade ferrate, non che allo zelo spiegato dal personale da esso dipendente, è dovuto l'esito felice dei lavori di ristauro della Galleria dei Giovi, lavori i quali, pel giusto criterio con cui vennero progettati, pel modo di esecuzione, per la scelta qualità dei materiali stati adoperati, per forma, per dimensioni e per disposizioni state adottate, promettono che non saranno per mancare allo scopo per cui vennero eseguiti, e che non saranno per rendere vane le premurose cure state usate nel loro studio e nella loro esecuzione.

CAPITOLO II.

Determinazione delle grossezze dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili.

9. **Componenti orizzontale e verticale della pressione che le terre producono su una determinata parte della superficie esterna del rivestimento di una galleria.** — Siano $ACA'D$ e $BKB'M$ (*Fig. 15*) le due sezioni rette, contenute in uno stesso piano, della superficie esterna e della superficie interna del rivestimento di una galleria; la linea LOL' rappresenti il profilo della superficie superiore del terreno mobile, la qual linea sarà generalmente orizzontale o assai poco inclinata all'orizzonte; e si consideri una lunghezza di galleria eguale all'unità. S'immaginino condotte, pel punto culminante C della direttrice della superficie d'estradosso del vólto, l'orizzontale xCx' e la verticale yCy' , e si chiamino:

Il peso dell'unità di volume di terra;

x_1 ed y_1 le due coordinate $\overline{Cp_1}$ e $\overline{p_1n_1}$ di un punto qualunque n_1 della curva ACA';

x_2 ed y_2 le due coordinate $\overline{Cp_2}$ e $\overline{p_2n_2}$ di un altro punto n_2 della stessa curva.

x ed y le due coordinate \overline{Cp} e \overline{pn} di un terzo punto posto fra n_1 ed n_2 ;

y' l'ordinata \overline{pq} della linea LL' corrispondente all'ascissa $\overline{Cp} = x$;
 s la lunghezza dell'arco Cn.

La pressione sulla superficie elementare rappresentata nell'arco infinitesimo $nn' = ds$, la qual superficie altro non è che una strettissima lista lunga l'unità e larga ds , vale

$$\Pi (y' + y) ds.$$

Le componenti orizzontale e verticale di questa pressione si ottengono moltiplicando rispettivamente il valore ora trovato per i coseni degli angoli che la normale in n alla curva ACA' fa cogli assi coordinati, ossia, operando la detta pressione nel senso nn'' , per $-\frac{dy}{ds}$ e $\frac{dx}{ds}$; cosicchè le accennate componenti risultano:

$$-\Pi (y' + y) dy$$

quella orizzontale, e

$$\Pi (y' + y) dx$$

quella verticale.

Se ora si dicono

Ξ ed Γ le due componenti orizzontale e verticale della totale pressione, che ha luogo sull'arco n_1n_2 , si ottengono i loro valori integrando le due ultime espressioni fra i limiti definiti dai punti n_1 ed n_2 , e quindi si ha:

$$\Xi = -\Pi \int_{x_1}^{x_2} (y' + y) \frac{dy}{dx} dx \quad (1),$$

$$\Gamma = \Pi \int_{x_1}^{x_2} (y' + y) dx \quad (2).$$

Indicando rispettivamente con

v e ξ le distanze delle forze Ξ ed Υ degli assi coordinati xCx' ed yCy' ,

riesce facile ottenerle coll'applicazione del teorema dei momenti. I momenti elementari, rispetto ai due piani, uno orizzontale determinato dalla retta xCx' e l'altro verticale determinato dalla retta yCy' , delle pressioni orizzontale e verticale che hanno luogo sull'elemento di superficie rappresentato nell'arco nn' , sono rispettivamente

e, dovendo i momenti delle forze Ξ ed Υ rispetto agli stessi piani essere rispettivamente eguali alle somme dei detti momenti elementari prese fra i limiti definiti dai punti n_1 ed n_2 , risultano le seguenti formole determinatrici delle due distanze v ed ξ delle forze Ξ ed Υ degli assi coordinati xCx' ed yCy'

$$v = \frac{\int_{x_1}^{x_2} (y' + y) y \frac{dy}{dx} dx}{\int_{x_1}^{x_2} (y' + y) \frac{dy}{dx} dx} \quad (3),$$

$$\xi = \frac{\int_{x_1}^{x_2} (y' + y) x dx}{\int_{x_1}^{x_2} (y' + y) dx} \quad (4).$$

Trovandosi le due curve ACA' ed LOL' riferite ai due assi coordinati ortogonali xCx' ed yCy' , riesce facile esprimere i valori di y , $\frac{dy}{dx}$ ed y' in funzione dell'ascissa x , e quindi esattamente o per approssimazione si possono ottenere i valori dei quattro diffe-

renti integrali che entrano nelle formole (1), (2), (3) e (4). È poi

facile convincersi che $\int_{\omega_1}^{\omega_2} (y' + y) dx$ rappresenta l'area della figura

$q_1 q_2 n_2 n_1$ e che $\int_{\omega_1}^{\omega_2} (y' + y) x dx$ è il momento della stessa area rispetto

al piano verticale determinato dalla retta yCy' e perpendicolare alla retta xCx' .

Qualora vogliansi le pressioni Ξ ed T e le distanze v ed ξ per una porzione Cn della superficie del rivestimento, la quale incominci in corrispondenza della generatrice più elevata della superficie d'estradosso del volto, riesce facile ottenerle dalle formole (1), (2), (3) e (4) ponendo eguale a zero il limite inferiore ω_1 e ponendo eguale ad x il limite superiore ω_2 .

10. Semplificazione che si può apportare alle formole del numero precedente. — Nelle pratiche applicazioni non si può generalmente avere con esattezza il valore di y' in funzione dell'ascissa x , e d'altronde, come già si è detto nel precedente numero, la linea LOL' (*Fig.* 15) o è orizzontale o ben poco discosta dall'orizzontale. Segue da ciò che si può introdurre una semplificazione nelle formole (1), (2), (3) e (4) del numero precedente col prendere un valore costante per y' , il qual valore sarà dato dalla differenza di livello \overline{CO} fra l'origine C delle coordinate ed il punto O in cui la verticale yCy' taglia la linea LOL' , tuttavolta che questa linea sia orizzontale o quasi orizzontale. Che se la linea LOL' si scosta di qualche poco dall'orizzontale condotta per O , si possono tracciare le due verticali tangenti in I ed I' (*Fig.* 16) alla curva direttrice della superficie esterna del rivestimento e quindi le due orizzontali GF e $G'F'$, la prima in modo che la figura EFH sia equivalente all'altra HGO , e la seconda in modo che la figura $E'F'H'$ sia equivalente all'altra $H'G'O$, e supporre: che a dritta della verticale yCy' il valore di y' sia costante ed eguale a \overline{CG} ; che a sinistra della stessa verticale il valore di y' sia pure costante ed eguale a \overline{CG}' .

Se adunque si chiamano

c quella differenza di livello media costante che si assume per misurare l'altezza di carico della terra sul piano orizzontale passante pel punto C (*Fig.* 15),

X ed Y i valori assoluti delle pressioni orizzontale e verticale esercitate dalle terre sulla porzione di rivestimento $n_1 n_2$,

e se conservansi le lettere v e ξ per indicare le distanze delle forze X ed Y dagli assi coordinati, dopo il cangiamento di y' nella costante c , si può assumere la y come variabile indipendente per gli integrali che si trovano nelle formole (1) e (3) del precedente numero, ed i valori di X, Y, v e ξ , facili a dedursi dalle equazioni (1), (2), (3) e (4) dello stesso numero, risultano

$$X = \Pi \int_{y_1}^{y_2} (c + y) dy,$$

$$Y = \Pi \int_{x_1}^{x_2} (c + y) dx,$$

$$v = \frac{\int_{y_1}^{y_2} (c + y) y dy}{\int_{y_1}^{y_2} (c + y) dy},$$

$$\xi = \frac{\int_{x_1}^{x_2} (c + y) x dx}{\int_{x_1}^{x_2} (c + y) dx}.$$

Effettuando quegli integrali in cui trovasi una sola variabile, ed osservando che

$$\int_{y_1}^{y_2} (c + y) dy = \frac{X}{\Pi}$$

$$\int_{x_1}^{x_2} (c + y) dx = \frac{Y}{\Pi},$$

le formole determinatrici di X, Y, v e ξ si riducono a

$$X = \Pi \left[c + \frac{1}{2} (y_2 + y_1) \right] (y_2 - y_1) \quad (1),$$

$$Y = \Pi \left[c (x_2 - x_1) + \int_{x_1}^{x_2} y dx \right] \quad (2),$$

$$v = \Pi \frac{[3c(y_2 + y_1) + 2(y_2^2 + y_2 y_1 + y_1^2)] (y_2 - y_1)}{6X} \quad (3),$$

$$\xi = \Pi \frac{c(x_2^2 - x_1^2) + 2 \int_{x_1}^{x_2} xy dx}{2Y} \quad (4).$$

Conoscendosi l'equazione della curva ACA' (*Fig.* 15) rispetto ai due assi coordinati Cx e Cy, si ha il valore di y in funzione di x; e, o esattamente o per approssimazione, si possono valutare i due

termini $\int_{x_1}^{x_2} y dx$ ed $\int_{x_1}^{x_2} xy dx$, i quali rappresentano rispettivamente l'area della figura $p_1 p_2 n_3 n_1$ ed il momento di quest'area rispetto al piano verticale determinato dalla retta yCy' e perpendicolare alla retta xCy'.

Le pressioni X ed Y e le distanze v e ξ di queste pressioni dagli assi coordinati xCx' ed yCy' per una parte Cn della superficie del rivestimento, la quale incominci colla generatrice culminante dell'estradosso del vólto, assai facilmente si deducono dalle ultime quattro formole. Basta perciò fare in esse

$$\begin{aligned} x_1 &= 0, & y_1 &= 0, \\ x_2 &= x, & y_2 &= y, \end{aligned}$$

ed immediatamente si ottengono le equazioni

$$X = \Pi \left(c + \frac{1}{2} y \right) y \quad (5),$$

$$Y = \Pi \left(c x + \int_0^x y dx \right) \quad (6),$$

$$v = \Pi \frac{(3c + 2y) y^2}{6X} \quad (7),$$

$$\xi = \Pi \frac{c x^2 + 2 \int_0^x x y dx}{2Y} \quad (8),$$

nelle quali i due termini $\int_0^x y dx$ e $\int_0^x x y dx$ rappresentano rispettivamente l'area della figura Cpn ed il momento della stessa area rispetto al piano verticale determinato dalla retta yCy' e perpendicolare alla retta xCx' .

11. Componenti orizzontale e verticale della pressione che le terre producono su una determinata parte della superficie esterna del rivestimento di una galleria, quando la direttrice di questa superficie è una curva policentrica. — Ben di frequente la curva ACA' (*Fig. 15*) è una curva policentrica, simmetrica rispetto alla verticale yCy' ; e, volendosi in questo caso trovare i valori di X , Y , v e ξ per una parte qualunque della superficie del rivestimento posta verso terra, lunga l'unità ed avente per direttrice la curva NN_n (*Fig. 17*) costituita da più archi circolari raccordati NN_1 , N_1N_2 , N_2N_3 , ed $N_{n-1}N_n$, converrà tenere questo procedimento. Applicando le formole (1), (2), (3) e (4) del numero precedente, si calcoleranno i valori particolari X_1 , Y_1 , v_1 e ξ_1 di X , Y , v e ξ relativi al primo arco NN_1 ; e quindi, impiegando le stesse formole, si determineranno i valori particolari X_2 , Y_2 , v_2 e ξ_2 , X_3 , Y_3 , v_3 e ξ_3 , e X_n , Y_n , v_n e ξ_n di X , Y , v e ξ , riferentisi rispettivamente al secondo arco N_1N_2 , al terzo arco N_2N_3 , ed all'ultimo arco $N_{n-1}N_n$. Chiamando

X_s ed Y_s le componenti orizzontale e verticale della pressione sulla superficie rappresentata nella curva NN_n ,

v_s e ξ_s le distanze della X_s dell'asse Cx , e della Y_s dall'asse Cy , si ha: per la composizione delle forze parallele

$$X_s = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n \quad (1),$$

$$Y_s = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n \quad (2);$$

pel teorema dei momenti

$$v_s = \frac{X_1 v_1 + X_2 v_2 + X_3 v_3 + \dots + X_n v_n}{X_s} \quad (3),$$

$$\xi_s = \frac{Y_1 \xi_1 + Y_2 \xi_2 + Y_3 \xi_3 + \dots + Y_n \xi_n}{Y_s} \quad (4).$$

Avviene talvolta che nel profilo della superficie esterna del rivestimento di una galleria si trovano alcune parti rettilinee, per le quali riesce assai facile la determinazione dei valori di X , Y , v e ξ mediante le formole state stabilite nel precedente numero, giacchè trattasi d'applicare queste equazioni nel più semplice dei casi che si possono presentare.

12. Mutua azione di due parti di volta che si toccano secondo un giunto qualunque. — Stabilite le formole generali per determinare le azioni delle terre mobili contro i rivestimenti di gallerie in esse praticate, viene l'importante quistione di trovare la mutua azione di due parti di volta, le quali si toccano secondo un giunto qualunque HG (*Fig.* 18).

Nel risolvere questo problema si presenta la difficoltà di indeterminazione che ha luogo nello studio dell'equilibrio e della stabilità delle arcate in muratura; difficoltà che teoricamente si potrebbe superare facendo uso della teoria della deformazione dei corpi elastici, oppure applicando il principio di elasticità, ma con ben poco vantaggio pratico, giacchè si cadrebbe allora su formole complicate e di troppo difficile applicazione. Nell'attuale stato di cognizioni è quasi un'imperiosa necessità di rendere determinato il problema col prestabilirsi i punti d'applicazione delle pressioni su tre differenti giunti del rivestimento, ed accontentarsi così d'una risoluzione, la quale, se qualche cosa lascia desiderare dal lato teorico, è però sufficiente per soddisfare alle limitate esigenze della pratica.

Supponendo che siano L, M ed L' i punti d'applicazione delle pressioni sui tre giunti EF, GH ed E'F', si chiamino:

a e b le due coordinate \overline{CI} ed \overline{IL} del punto L rispetto ai due assi coordinati Cx e Cy ;

c e d le due coordinate del punto M rispetto agli stessi assi;

a' e b' le due coordinate $\overline{CI'}$ ed $\overline{I'L'}$ del punto L' rispetto ai due assi coordinati Cx' e Cy ;

P il peso della parte di rivestimento, lunga l'unità, rappresentata in EFHG, e

p la distanza \overline{OR} di questo peso dalla Cy ;

P' il peso della parte di rivestimento, anche lunga l'unità, rappresentata in E'F'HG, e

p' la distanza $\overline{O'R'}$ di questo peso dalla Cy ;

X ed Y le due componenti, parallele a Cx ed a Cy , dell'azione delle terre contro quella parte della superficie d'estradosso, lunga l'unità, la quale trovasi rappresentata nell'arco HF;

v la distanza \overline{cd} della X dalla retta Cx , e

ξ la distanza \overline{fe} della Y dalla retta Cy ;

X' ed Y' le due componenti, parallele a Cx' ed a Cy , dell'azione delle terre contro quella parte della superficie d'estradosso, pure lunga l'unità, la quale è rappresentata nell'arco HF',

v' la distanza $\overline{c'd'}$ della X' dalla retta Cx' , e

ξ' la distanza $\overline{f'e'}$ della Y' dalla retta Cy ;

Q e V le due componenti, dirette secondo Cx e Cy , dell'azione della parte di rivestimento rappresentata in GE'F'H contro l'altra parte rappresentata in GEFH.

Osservando che, se la Q e la V sono rappresentate nelle linee continue MQ ed MV, le componenti secondo Cx' e Cy dell'azione della porzione di rivestimento GEFH contro l'altra parte GE'F'H devono essere rivolte secondo le linee punteggiate MQ' ed MV' ed essere rispettivamente eguali in intensità alla Q ed alla V, si ha: che la condizione della nullità della somma algebrica dei momenti delle forze sollecitanti la porzione di rivestimento rappresentata in GEFH, attorno alla retta proiettata nel punto L, conduce all'equazione

$$Q(b-d) - V(a-c) - P(a-p) - X(b-v) - Y(a-\xi) = 0 \quad (1);$$

e che l'analogia condizione pei momenti delle forze sollecitanti la

porzione di rivestimento rappresentata in $GE'F'H$, attorno alla retta proiettata nel punto L' , porta a stabilire l'equazione

$$Q(b'-d) + V(a'+c) - P'(a'-p') - X'(b'-v') - Y'(a'-\xi') = 0 \quad (2).$$

Ponendo

$$\left. \begin{aligned} A &= P(a-p) + X(b-v) + Y(a-\xi) \\ A' &= P'(a'-p') + X'(b'-v') + Y'(a'-\xi') \end{aligned} \right\} \quad (3),$$

le due indicate condizioni dell'equilibrio di rotazione si riducono a

$$\begin{aligned} Q(b-d) - V(a-c) &= A, \\ Q(b'-d) + V(a'+c) &= A', \end{aligned}$$

dalle quali immediatamente si deducono le formole

$$Q = \frac{A(a'+c) + A'(a-c)}{(a'+c)(b-d) + (a-c)(b'-d)} \quad (4),$$

$$V = \frac{-A(b'-d) + A'(b-d)}{(a'+c)(b-d) + (a-c)(b'-d)} \quad (5).$$

Mediante le formole (3) riesce facile calcolare le due quantità ausiliarie A ed A' , e torna dopo agevole determinare colle formole (4) e (5) le componenti Q e V della reciproca azione fra le due parti di rivestimento $GEFH$ e $GE'F'H$.

Soventi volte, invece del giunto qualunque GH , si assume il giunto verticale KC alla chiave. In questo caso si ha $c=0$, ed i valori di Q e di V si riducono a

$$Q = \frac{Aa' + A'a}{a'(b-d) + a(b'-d)} \quad (6),$$

$$V = \frac{-A(b'-d) + A'(b-d)}{a'(b-d) + a(b'-d)} \quad (7),$$

rappresentanti rispettivamente le due componenti orizzontale e verticale della spinta alla chiave.

Se il rivestimento è simmetrico rispetto al piano verticale determinato dalla retta Cy , e se le terre producono sul rivestimento stesso pressioni pure simmetriche rispetto al detto piano, egli è evidente che, ammettendo essere in L il punto d'applicazione della pressione sul giunto EF , deve trovarsi in L_1 , in modo da essere $\overline{E_1L_1} = \overline{EL}$, il punto d'applicazione della pressione sul giunto E_1F_1 , simmetrico di EF . Considerando adunque i due giunti EF ed E_1F_1 , si ha

$$\begin{aligned} P' &= P, & X' &= X, & Y' &= Y, \\ p' &= p, & v' &= v, & \xi' &= \xi, \\ a' &= a, & b' &= b; \end{aligned}$$

le equazioni (3) danno

$$A' = A;$$

l'equazione (6) si riduce a

$$Q = \frac{A}{b-d} \quad (8);$$

e risulta dall'equazione (7) $V = 0$. Quando adunque il rivestimento è simmetrico rispetto al piano verticale rappresentato nella retta Cy , e quando sono pure simmetriche le forze su esso operanti, è orizzontale la mutua azione delle due parti giacenti a dritta ed a sinistra del giunto verticale alla chiave.

13. Criterio per stabilire i punti d'applicazione delle pressioni su tre giunti del rivestimento. — Nello stabilire le formole del numero precedente si è supposto che i punti d'applicazione delle pressioni sui giunti EF , GH ed $E'F'$ (*Fig.* 18) siano in L , M ed L' , nè si è dato alcun criterio il quale possa servire per fissare i detti punti, se non nel modo più esatto possibile, almeno in modo non disdicevole ad ottenere risultamenti poco lungi dalla verità. Un tale criterio indubitatamente tornerebbe di gran vantaggio nella pratica, ed ecco le considerazioni (del genere di quelle già state fatte nel numero 2 del lavoro intitolato *Metodo pratico per determinare le principali dimensioni delle arcate dei ponti in muratura*, esposto nel volume I di quest'*Appendice all'arte di fabbricare*) che valgono ad ottenerlo.

Siano AB ed $A'B'$ (*Fig. 19*) due giunti assai vicini del rivestimento di una galleria quale venne progettata ed eseguita, e sia proiettata in O la retta secondo la quale s'incontrano i piani di questi giunti. Dopo la costruzione della galleria e sotto l'azione delle forze operanti sul rivestimento, quest'ultimo o poco o tanto si deformerà; il giunto AB si porterà in A_1B_1 , il giunto $A'B'$ in $A_1'B_1'$; ed i piani dei giunti spostati s'incontreranno secondo la retta proiettata nel punto O_1 ; le curve d'intradosso e d'estradosso AA' e BB' sarannosi ridotte a due altre curve A_1A_1' e B_1B_1' ; e si può ritenere che, se O era il centro di curvatura corrispondente al piccolo arco AA' , sia O_1 il centro di curvatura corrispondente all'altro piccolo arco A_1A_1' .

Se adunque si dicono

z la grossezza $\overline{AB} = \overline{A'B'}$ del rivestimento,

ρ il raggio di curvatura \overline{OA} prima della deformazione,

ρ_1 il raggio di curvatura $\overline{O_1A_1}$ dopo la deformazione,

θ l'arco di raggio eguale all'unità chiudente l'angolo piccolissimo AOA' ,

θ_1 l'arco dello stesso raggio chiudente l'altro angolo $A_1O_1A_1'$,
risulta

$$AA' = \rho\theta,$$

$$A_1A_1' = \rho_1\theta_1,$$

$$BB' = (\rho + z)\theta,$$

$$B_1B_1' = (\rho_1 + z)\theta_1;$$

e gli accorciamenti subiti dagli archi AA' e BB' sono dati da

$$AA' - A_1A_1' = \rho\theta - \rho_1\theta_1$$

$$BB' - B_1B_1' = (\rho + z)\theta - (\rho_1 + z)\theta_1.$$

Ora, ritenendo che sia conforme al vero l'ammettere che, nei limiti entro i quali si possono cimentare le resistenze dei corpi nelle costruzioni, le pressioni, provocate in elementi di fibra compressi, siano proporzionali agli accorciamenti di questi elementi medesimi, ed inversamente proporzionali alle loro lunghezze primitive, se chiamansi

K_1 la pressione, riferita all'unità di superficie, per l'elemento di fibra AA' , diventato A_1A_1' ,

K_0 la pressione, pure riferita all'unità di superficie, per l'elemento di fibra BB' , ridottosi a $B_1B'_1$,
si ha:

$$\frac{K_1}{K_0} = \frac{(\rho\theta - \rho_1\theta_1)(\rho + z)}{[(\rho + z)\theta - (\rho_1 + z)\theta_1]\rho}.$$

Si può ottenere un'altra espressione del rapporto $\frac{K_1}{K_0}$ considerando un giunto qualunque EF del rivestimento fra AB ed $A'B'$, rappresentato nel rettangolo $EFF'E'$ (*Fig. 20*), in modo da essere i due lati $\overline{EE'}$ ed $\overline{FF'}$ quelli lunghi l'unità, posti rispettivamente all'intradosso ed all'estradosso. Chiamando

N la totale pressione che ha luogo sul detto giunto in direzione ad esso normale,

δ la distanza \overline{HG} del punto d'applicazione di questa pressione dall'intradosso,

ed ammettendo che le pressioni, riferite all'unità di superficie, su rette parallele ad FF' , comprese fra EE' ed FF' , varino di quantità proporzionali alle distanze che le dette parallele hanno dalla EE' medesima, si ha: che la differenza delle pressioni, riferite all'unità di superficie e verificantisi in un punto qualunque di EE' e di FF' , è

$$K_1 - K_0;$$

che, essendo x la distanza \overline{HM} fra il lato EE' ed una retta qualunque KK' ad esso parallela condotta nel rettangolo $EFF'E'$, la differenza fra le pressioni riferite all'unità di superficie che hanno luogo su EE' e su KK' è data da

$$\frac{K_1 - K_0}{z} x;$$

che la pressione riferita all'unità di superficie, in un punto qualunque di KK' , vale

$$K_1 - \frac{K_1 - K_0}{z} x;$$

che la pressione elementare, su una lista rettangolare $KLL'K'$ lunga $\overline{KK'} = 1$ ed alta $\overline{MM'} = dx$, risulta:

$$\left(K_i - \frac{K_i - K_e}{z} x \right) dx;$$

che il momento di questa pressione elementare rispetto alla retta EE' ammette il valore

$$\left(K_i - \frac{K_i - K_e}{z} x \right) x dx.$$

Ora, la somma delle diverse pressioni elementari che hanno luogo sul rettangolo EFF'E' deve eguagliare la totale pressione N, e la somma dei momenti di queste pressioni elementari per rapporto ad EE' deve eguagliare il momento Nδ della stessa pressione N pure rispetto ad EE'; cosicchè risultano le seguenti equazioni:

$$\int_0^z \left(K_i - \frac{K_i - K_e}{z} x \right) dx = N$$

$$\int_0^z \left(K_i - \frac{K_i - K_e}{z} x \right) x dx = N\delta.$$

le quali, eseguiti gli integrali e fatte le convenienti riduzioni, diventano

$$\frac{K_i + K_e}{2} z = N$$

$$\frac{K_i + 2K_e}{6} z^2 = N\delta.$$

Ricavando da queste equazioni i valori di K_i e di K_e , si ha:

$$K_i = 2 \left(2 - 3 \frac{\delta}{z} \right) \frac{N}{z} \quad (1),$$

$$K_e = 2 \left(-1 + 3 \frac{\delta}{z} \right) \frac{N}{z} \quad (2);$$

cosicchè il rapporto $\frac{K_i}{K_e}$ vien dato da

$$\frac{K_i}{K_e} = \frac{2 - 3 \frac{\delta}{z}}{-1 + 3 \frac{\delta}{z}}$$

Eguagliando fra di loro i due trovati valori del rapporto $\frac{K_i}{K_e}$, e ricavando dall'equazione risultante il valore di δ , si ottiene:

$$\delta = \frac{6(\rho\theta - \rho_1\theta_1)\rho + 6\rho z\theta - 2(2\rho + \rho_1)z\theta_1}{6(\rho\theta - \rho_1\theta_1)\rho + 6\rho z\theta - 3(\rho + \rho_1)z\theta_1} \frac{1}{2}z.$$

Tanto il numeratore quanto il denominatore della frazione, la quale moltiplica il fattore $\frac{1}{2}z$, hanno due termini eguali e diversificano soltanto nel terzo termine. Se ρ_1 è maggiore di ρ , il termine $3(\rho + \rho_1)$ è maggiore del termine $2(2\rho + \rho_1)$; il denominatore della frazione, la quale moltiplica $\frac{1}{2}z$ nella formola determinatrice di δ , risulta minore del numeratore; il valore di δ si trova maggiore di $\frac{1}{2}z$; e quindi la pressione sul giunto EF (*Fig.* 19) trovasi applicata al di là del mezzo del detto giunto, ossia più presso l'estradosso che presso l'intradosso. Se invece ρ_1 è minore di ρ , il termine $3(\rho + \rho_1)$ è minore del termine $2(2\rho + \rho_1)$; il denominatore della frazione, la quale moltiplica $\frac{1}{2}z$ nella formola determinatrice di δ , risulta maggiore del numeratore; si ottiene un valore di δ minore di $\frac{1}{2}z$; e quindi la pressione sul giunto EF trovasi applicata al di qua del mezzo del giunto medesimo, ossia più presso l'intradosso che presso l'estradosso. Se finalmente il valore di ρ_1 è eguale a quello di ρ , il valore di δ risulta $\frac{1}{2}z$, ossia la pressione trovasi applicata nel mezzo del giunto.

La discussione stata fatta sul valore di δ porta a stabilire che, conoscendosi il profilo trasversale del rivestimento di una galleria

quale primitivamente venne costruito ed il profilo trasversale in seguito a deformazioni in esso verificatesi dopo la costruzione, è possibile decidere se il punto d'applicazione della pressione su un dato giunto EF è sopra o sotto il mezzo del giunto medesimo, allorquando si possano conoscere, almeno approssimativamente, i raggi di curvatura pei punti E e E_1 , corrispondentisi nella curva primitiva d'intradosso e nella stessa curva deformata. Se poi, considerando il punto E, non che due punti ad esso assai vicini A ed A' sulla curva primitiva ed i punti corrispondenti E_1 , A_1 ed A'_1 sulla curva deformata, si trovano i centri O ed O_1 dei due archi circolari determinati, l'uno dai tre punti A, E e A' e l'altro dai tre punti A_1 , E_1 ed A'_1 , i raggi \overline{OA} ed $\overline{O_1A_1}$ di questi archi e gli archi di raggio eguale all'unità chiudenti gli angoli AOA' ed $A_1O_1A'_1$, mediante la formola determinatrice di δ si può trovare la distanza del punto d'applicazione della pressione sul giunto EF a partire da E. Si può ritenere che ρ sia il raggio \overline{OA} dell'arco di circolo determinato dai tre punti A, E ed A', che ρ_1 sia il raggio $\overline{O_1A_1}$ dell'arco di circolo determinato dai tre punti A_1 , E_1 ed A'_1 , che θ e θ_1 siano gli archi di raggio eguale all'unità chiudenti rispettivamente gli angoli AOA' ed $A_1O_1A'_1$.

Qualora l'indicata operazione per la determinazione di δ possa essere effettuata per tre differenti giunti, rimangono determinati tutti gli elementi che entrano nelle formole state stabilite nel precedente numero, e quindi si ha quanto occorre per trovare la mutua azione di due parti qualunque del rivestimento.

14. Pressioni su giunti qualunque e loro punti d'applicazione. — Supponendo cognite le due componenti orizzontale e verticale della pressione su un giunto qualunque GH (*Fig.* 18) e fissato il loro punto d'applicazione M, si possono determinare gli elementi analoghi per giunti qualunque a dritta ed a sinistra di GH e posti quindi nelle condizioni dei due giunti EF ed E'F'.

Conservando alle lettere Q, V, X, Y, P, X', Y' e P' i significati che loro vennero attribuiti nel numero 12, e dicendo

R ed R' le due reazioni opposte dalle parti di rivestimento sottostanti ai giunti EF ed E'F',

S ed U le due componenti orizzontale e verticale di R,

S' ed U' le due componenti analoghe di R',

λ e λ' gli angoli delle reazioni R ed R' colla verticale,

si ha: che devono essere verificate le condizioni dell'equilibrio di traslazione pei due sistemi di forze applicate alle parti di rivesti-

mento EGHF ed E'GHF'; che queste condizioni conducono a trovare

$$\left. \begin{aligned} S &= Q - X \\ U &= P + V + Y \end{aligned} \right\} \quad (1),$$

$$\left. \begin{aligned} S' &= Q - X' \\ U' &= P' - V + X' \end{aligned} \right\} \quad (2).$$

Le risultanti R ed R', la prima delle due componenti S ed U, la seconda delle due componenti S' ed U', sono date da

$$R = \sqrt{S^2 + U^2} \quad (3),$$

$$R' = \sqrt{S'^2 + U'^2} \quad (4),$$

e gli angoli λ e λ' si possono dedurre dalle formole

$$\text{tang } \lambda = \frac{S}{U} \quad (5),$$

$$\text{tang } \lambda' = \frac{S'}{U'} \quad (6).$$

Se poi si conservano alle lettere $c, d, a, b, v, \xi, p, a', b', v', \xi'$ e p' i significati che loro vennero attribuiti nel già citato numero 12, e se chiamansi

ϕ e ϕ' gli angoli dei giunti EF ed E'F' colla verticale,

α ed α' le ascisse $\overline{CI_n}$ e $\overline{C'I'_n}$ dei punti F ed F',

β e β' le ordinate $\overline{I_n F}$ ed $\overline{I'_n F'}$ degli stessi punti,

δ e δ' le distanze \overline{FL} ed $\overline{F'L'}$ dei punti d'applicazione L ed L' delle pressioni sui giunti EF ed E'F' da F e da F',

si ha

$$a = \alpha - \delta \text{ sen } \phi$$

$$b = \beta + \delta \text{ cos } \phi$$

$$a' = \alpha' - \delta' \text{ sen } \phi'$$

$$b' = \beta' + \delta' \text{ cos } \phi'.$$

Ponendo questi valori di a, b, a' e b' , nelle equazioni (1) e (2) del numero 12, le quali altro non sono che le condizioni dell'equi-

librio di rotazione delle due parti di rivestimento EGHF ed E'GHF' sotto l'azione delle forze che le sollecitano, s'ottiene: per la porzione di rivestimento EGHF

$$Q(\beta + \delta \cos \phi - d) - V(\alpha - \delta \sin \phi - c) - P(\alpha - \delta \sin \phi - p) - X(\beta + \delta \cos \phi - v) - Y(\alpha - \delta \sin \phi - \xi) = 0,$$

dalla quale immediatamente si deduce

$$\delta = \frac{-Q(\beta - d) + V(\alpha - c) + P(\alpha - p) + X(\beta - v) + Y(\alpha - \xi)}{(Q - X) \cos \phi + (V + P + Y) \sin \phi} \quad (7);$$

e per la porzione di rivestimento E'GHF'

$$Q(\beta' + \delta' \cos \phi' - d) + V(\alpha' - \delta' \sin \phi' + c) - P'(\alpha' - \delta' \sin \phi' - p') - X'(\beta' + \delta' \cos \phi' - v') - Y'(\alpha' - \delta' \sin \phi' - \xi') = 0,$$

da cui tosto si ricava

$$\delta' = \frac{-Q(\beta' - d) - V(\alpha' + c) + P'(\alpha' - p') + X'(\beta' - v') + Y'(\alpha' - \xi')}{(Q - X') \cos \phi' + (-V + P' + Y') \sin \phi'} \quad (8).$$

Essendo date le componenti orizzontale e verticale non che il punto d'applicazione della mutua azione delle due parti di rivestimento EGHF ed E'GHF' sul giunto comune GH, servono le formole (1), (3), (5) e (7) per la determinazione delle componenti orizzontale e verticale, della loro risultante, della direzione e del punto d'applicazione della pressione su un giunto qualunque come EF posto a dritta del giunto GH, e le formole (2), (4), (6) ed (8) servono alle stesse determinazioni per un giunto qualunque come E'F' situato a sinistra dello stesso giunto GH

Se il giunto GH è quello corrispondente alla sommità del volto, ossia il giunto verticale, si ha $c = 0$, e le formole (7) ed (8) si riducono a

$$\delta = \frac{-Q(\beta - d) + V\alpha + P(\alpha - p) + X(\beta - v) + Y(\alpha - \xi)}{(Q - X) \cos \phi + (V + P + Y) \sin \phi} \quad (9),$$

$$\delta' = \frac{-Q(\beta' - d) - V\alpha' + P'(\alpha' - p') + X'(\beta' - v') + Y'(\alpha' - \xi')}{(Q - X') \cos \phi' + (-V + P' + Y') \sin \phi'} \quad (10)$$

Se invece la parte di rivestimento $E'GHF'$ incomincia col giunto verticale, ossia se il giunto $E'F'$ si confonde con KC , evidentemente si ha $\phi' = 0$, $\alpha' = 0$ e $\beta' = 0$; e la formola determinatrice di δ'_0 , ossia della distanza del punto d'applicazione della pressione sul giunto verticale dall'estradosso, formola che facilmente si deduce applicando la (8) per gl'indicati valori di ϕ' , α' e β' , risulta

$$\delta'_0 = \frac{Qd - Vc - P'p' - X'v' - Y'\xi'}{Q - X'} \quad (11).$$

Non occorre avvertire che, volendo applicare le formole (2) ed (11) al caso della porzione di rivestimento rappresentato in $KGH C$, bisogna considerare come negativi i valori di X' , p' e ξ' .

15. Componenti tangenziale e normale della pressione su un giunto qualsiasi del rivestimento. — Determinate le componenti Q e V della pressione e quindi dell'azione su un giunto qualunque EF (Fig. 21), riesce facile trovare le sue componenti, una contenuta e l'altra normale al piano del giunto medesimo.

Dette perciò

T la somma algebrica delle componenti di S e di U contenute nel giunto EF ,

N la stessa somma per le componenti normali e ϕ l'angolo del giunto medesimo colla verticale, si ha

$$T = U \cos \phi - S \sin \phi \quad (1),$$

$$N = U \sin \phi + S \cos \phi \quad (2).$$

Se applicando la formola (1) trovansi valori di T , alcuni positivi ed alcuni negativi, vuol dire che i primi corrispondono a forze T rivolte verso l'interno e che i secondi rappresentano forze T dirette verso l'esterno della galleria.

16. Pressioni riferite all'unità di superficie all'intradosso ed all'estradosso in un giunto qualsiasi del rivestimento. — Ammettendo, come nel numero 13, che le resistenze riferite all'unità di superficie provocate normalmente ad un giunto qualunque EF (Fig. 21), rappresentato nel rettangolo $EFF'E'$ (Fig. 20), variino nei diversi suoi punti proporzionalmente alle distanze che essi hanno dalla EE' , si ha: che la massima resistenza riferita all'unità di superficie deve trovarsi provocata, o su EE' o su FF' , cioè al-

l'intradosso o all'estradosso; che servono alla loro determinazione le formole (1) e (2) del citato numero 13.

Chiamando perciò

z la lunghezza \overline{EF} del giunto qualunque che si considera,

δ la distanza del punto d'applicazione dell'azione su questo giunto dall'estradosso,

N la componente di quest'azione, diretta normalmente al giunto stesso,

e ponendo nelle ultime indicate formole $z - \delta$ invece di δ , si ottengono i seguenti valori di K_i e di K_e rispettivamente rappresentanti le pressioni riferite all'unità di superficie all'intradosso ed all'estradosso

$$K_i = 2 \left(-1 + 3 \frac{\delta}{z} \right) \frac{N}{z} \quad (1),$$

$$K_e = 2 \left(2 - 3 \frac{\delta}{z} \right) \frac{N}{z} \quad (2).$$

I valori di K_i e di K_e dati da queste formole possono essere positivi o negativi, e si conchiuderà, che rappresentano pressioni i primi, tensioni i secondi.

Qualora non si giudichi conveniente di tener conto della tenacità delle malte, riesce inammissibile lo sviluppo di tensione in un qualsiasi giunto, ed è giuocoforza conchiudere: che si verifica una fenditura all'intradosso dove si trova un valore negativo di K_i ; che vi ha una fenditura all'estradosso dove si ottiene un valore negativo di K_e . Siccome però per la costruzione delle gallerie, e principalmente di quelle in terreni mobili, bisogna assolutamente impiegare malte idrauliche di prima qualità e di quelle che col tempo aumentano di tenacità, io credo che sia il caso di ammettere anche i valori negativi di K_i e di K_e , e quindi la suscettività del rivestimento di poter sviluppare non solo resistenza alla compressione, ma anche resistenza allo strappamento.

Il valore di K_i risulta negativo nel caso in cui si trova per δ un valore minore di $\frac{1}{3}z$; si ha un valore negativo di K_e nell'altro caso in cui il valore di δ è maggiore dei $\frac{2}{3}z$; ed in questi due casi, quando non si voglia tener conto della tenacità delle malte, si presenta la quistione di separare, nel giunto che si considera, la sua parte premuta dalla parte non premuta. Chiamando

z_e la lunghezza, posta verso l'estradosso, della parte premuta del giunto quando δ è minore di $\frac{1}{3}z$,

z_i la lunghezza, situata verso l'intradosso, della parte premuta del giunto quando δ è maggiore dei $\frac{2}{3}z$,

si può determinare il valore di z_e cercando quel valore particolare z_e di z che rende nullo il valore di K_i dato dalla formola (1), e si ottiene

$$z_e = 3\delta.$$

La lunghezza adunque della parte premuta verso l'estradosso, quando si ammette che abbia luogo distacco verso l'intradosso, è il triplo della distanza del punto d'applicazione dell'azione sul giunto dall'estradosso medesimo. Analogamente, la lunghezza della parte premuta verso l'intradosso, quando si ammette che abbia luogo distacco verso l'estradosso, sarà il triplo della distanza del punto d'applicazione dell'azione sul giunto dall'intradosso stesso, e quindi si avrà:

$$z_i = 3(z - \delta).$$

Dicendo ora

K'_e la massima pressione, riferita all'unità di superficie, all'estradosso, quando si ammette che abbia luogo distacco all'intradosso;

K'_i la massima pressione, pure riferita all'unità di superficie, all'intradosso, quando si ammette che si verifichi una fenditura all'estradosso;

si può dedurre il valore di K'_e dalla formola (2) cangiando K_e in K'_e e z in $z_e = 3\delta$, cosicchè risulta:

$$K'_e = 2 \frac{N}{3\delta} \quad (3).$$

Analogamente, si ottiene il valore di K'_i mediante la formola

$$K'_i = 2 \frac{N}{3(z - \delta)} \quad (4).$$

Conchiudendo in merito alle formole state stabilite in questo numero per farle servire alla deduzione della massima resistenza, riferita all'unità di superficie, provocata in un giunto qualunque, si dirà: che, quando si vuol tener conto della tenacità delle malte, tenacità che non si dovrebbe trascurare nelle murature fatte con malte idrau-

liche e con malte cementizie, bisogna applicare le formole (1) e (2), ritenendo che i valori a cui esse conducono, rappresentino resistenze alla pressione se positivi, e resistenze allo strappamento se negativi; che, quando non si vuol tener conto della tenacità delle malte, si deve applicare la formola (1) se δ è compreso fra $\frac{1}{2}$ ed $\frac{2}{3}$ di z , e la formola (2) se δ è compreso fra $\frac{1}{3}$ ed $\frac{1}{2}$ di z ; e finalmente che, non volendosi pure tener conto della tenacità delle malte, si deve applicare la formola (3) quando δ è compreso fra 0 ed $\frac{1}{3} z$, e la formola (4) quando δ è compreso fra $\frac{2}{3} z$ e z .

17. Equazioni di stabilità per un giunto qualunque del rivestimento. — Due sono le condizioni che devono essere verificate in un giunto qualunque del rivestimento di una galleria, affinchè si possa dire che trovasi in esso la necessaria stabilità. La prima condizione esige che la massima resistenza allo schiacciamento e la massima resistenza allo strappamento, provocate in senso normale al giunto, siano minori degli sforzi per pressione e per trazione che stabilmente e permanentemente può sopportare la muratura di cui il rivestimento è formato nella località del giunto che si considera: la seconda invece vuole che la resistenza, sviluppata nel piano del giunto, sia inferiore allo sforzo che, nel senso del detto piano, stabilmente e permanentemente può sopportare lo strato di malta corrispondente al giunto stesso.

Allorquando si crede di poter tener conto della tenacità delle malte, conviene distinguere due casi: se cioè il valore di δ è compreso fra $\frac{1}{3}$ ed $\frac{2}{3}$ del valore di z ; e se il valore di δ è compreso fra 0 ed $\frac{1}{3} z$, oppure fra $\frac{2}{3} z$ e z . — Nel primo caso l'intero giunto si trova premuto, e dicendo

K_m la massima pressione, riferita all'unità di superficie, che ha luogo all'estradosso, quando δ è compreso fra $\frac{1}{3}$ ed $\frac{1}{2}$ di z , all'intradosso quando δ è compreso fra $\frac{1}{2}$ ed $\frac{2}{3}$ di z , la qual massima pressione si ottiene applicando una delle formole (1) e (2) del precedente numero,

R'' il coefficiente di rottura per pressione adatto alla muratura di cui il rivestimento è formato nei dintorni del giunto che si considera,

n'' il relativo coefficiente di stabilità,

Ω la superficie dell'intero giunto,

T il valore assoluto della componente, contenuta nel piano del giunto, dell'azione che su esso opera,

R'' il coefficiente di rottura per scorrimento che può convenire alla muratura di cui il rivestimento è formato nei dintorni del giunto considerato,

n''' il relativo coefficiente di stabilità,

si ha: che l'equazione di stabilità per lo schiacciamento è

$$n''R'' = K_m \quad (1);$$

e che l'equazione di stabilità per lo scorrimento risulta

$$n'''R''' = \frac{T}{\Omega} \quad (2).$$

Nel secondo caso trovasi provocata la resistenza allo schiacciamento in una parte del giunto, e la resistenza allo strappamento nell'altra parte. Chiamando poi

K'_m e K''_m i massimi valori assoluti di queste resistenze, riferite all'unità di superficie, facili a dedursi dalle formole (1) e (2) del precedente numero,

R' il coefficiente di rottura per istrappamento conveniente alla muratura di cui è costituito il rivestimento nei dintorni del giunto che si considera,

n' il relativo coefficiente di stabilità;

risulta: che è

$$n'R' = K'_m \quad (3)$$

l'equazione di stabilità relativa allo strappamento; che si ha

$$n''R'' = K''_m \quad (4)$$

per equazione di stabilità relativa allo schiacciamento; e finalmente che è

$$n'''R''' = \frac{T}{\Omega} \quad (5)$$

l'equazione di stabilità relativa allo scorrimento.

Anche nel caso in cui non si vuol tener conto della tenacità



delle malte, conviene distinguere i due casi di δ compreso fra $\frac{1}{3}$ ed i $\frac{2}{3}$ di z , e di δ compreso fra 0 ed $\frac{1}{3} z$, oppure fra $\frac{2}{3} z$ e z . — Nel primo caso si verifica pressione sull'intero giunto, sta l'equazione di stabilità (1) per rapporto allo schiacciamento, e bisogna introdurre la resistenza d'attrito nell'equazione di stabilità relativa allo scorrimento. Chiamando perciò

N la componente perpendicolare al giunto dell'azione che su esso ha luogo,

f il coefficiente d'attrito fra muratura e muratura,

n'' il coefficiente di stabilità relativo alla resistenza dovuta all'attrito,

si ha

$$T = n'' f N \quad (6)$$

per equazione di stabilità relativa allo scorrimento. — Nel secondo caso, quando non si tiene conto della coesione delle malte, si verifica una fenditura all'intradosso o all'estradosso del giunto che si considera, e la pressione massima ha luogo all'estradosso o all'intradosso. Questa pressione massima si ottiene colla formola (3) o colla formola (4) del precedente numero, e, indicando con K_m il suo valore, le equazioni di stabilità da applicarsi sono la (1) e la (6).

Se avvenisse che, per un giunto non si trovasse soddisfatta l'equazione di stabilità (2) relativa alla tenacità delle malte per iscorrimiento, non si potrebbe ancora dire che manchi in questo giunto la necessaria sicurezza. Conviene osservare che, dopo la distruzione dell'accennata resistenza, verrebbe in giuoco quella dovuta all'attrito e che quindi anche pel caso in cui si vuol tener conto della tenacità delle malte basta che sia soddisfatta l'equazione (6) per conchiudere che non esiste alcun pericolo di rottura per iscorrimiento nel piano del giunto considerato.

18. Dati pratici per l'applicazione delle formole state stabilite in questo capitolo. — Onde poter dedurre risultamenti di pratica utilità dalle formole che furono stabilite in questo lavoro, importa conoscere alcuni dati numerici relativi ai pesi dell'unità di volume di terra e di muratura, alle resistenze di quest'ultima, ai coefficienti di stabilità ed al coefficiente d'attrito fra muratura e muratura.

I pesi del metro cubo di terra argillosa imbevuta d'acqua e delle principali murature, che s'impiegano nella costruzione delle gallerie, mediamente si possono assumere come risulta dalla seguente tavola.

INDICAZIONE DEI MATERIALI	PESO del metro cubo
Terra argillosa imbevuta d'acqua	Da 2000 ^{cg} a 2200 ^{cg}
Muratura in mattoni	» 2000 » 2200
Muratura in pietrame	» 2300 » 2500
Muratura in conici di pietra da taglio	» 2500 » 2600
Muratura di calcestruzzo	» 2150 » 2250

Le resistenze delle murature, che si impiegano nella costruzione dei rivestimenti delle gallerie, si rappresentano coi valori R' , R'' ed R''' dei coefficienti di rottura per istrappamento, per ischiacciamento e per scorrimento; e questi coefficienti, per le murature generalmente usate, si possono assumere in conformità dei dati contenuti nella tavola che qui si presenta:

INDICAZIONE delle murature	Coefficienti di rottura ossia resistenze alla rottura riferite al metro quadrato					
	R'		R''		R'''	
	da	a	da	a	da	a
Muratura di mattoni molto resistenti con malta di cemento . .	200000	50000	1500000	1000000	200000	50000
Muratura di mattoni con malta di calce idraulica	150000	20000	1000000	500000	150000	20000
Muratura di petrame con malta di cemento	200000	50000	1500000	1000000	200000	50000
Muratura di pietrame con malta di calce idraulica	150000	20000	1000000	450000	150000	20000
Muratura di conici di pietra da taglio con malta di cemento . .	200000	50000	2000000	1000000	200000	50000
Muratura di conici di pietra da taglio con malta di calce idraulica	150000	20000	1000000	800000	150000	20000
Muratura di calcestruzzo	150000	20000	480000	400000	150000	20000

I limiti inferiori dei valori di R' e di R'' convengono per le malte di cemento e per le malte di calce idraulica, le quali si trovano in opera già da oltre un mese e da non più di due mesi. Quando le dette malte sono in opera già da oltre un anno, si possono adottare i limiti superiori dei valori di R' e di R'' ; e valori intermedi a quelli definiti dagli indicati limiti allorquando trattasi di rivestimenti i quali si lasciano liberi alle azioni delle terre dopo un tempo compreso fra due mesi ed un anno, a partire dall'epoca della loro costruzione. In quanto ai valori di R'' , convien osservare che essi si riferiscono piuttosto alle malte che entrano nella composizione dei rivestimenti delle gallerie, anzichè ai laterizi ed alle pietre di cui sono questi costituiti. Segue da ciò che, trattandosi di pietre e mattoni, la cui resistenza alla rottura per pressione sia inferiore a quella delle malte, si dovranno assumere per valori di R'' quelli che convengono per le pietre e pei mattoni da impiegarsi, e non quelli che si trovano nella tavola.

Per le murature fatte con materiali di qualità sceltissime e con quelle minute cure che è necessario usare nelle costruzioni di grande importanza come sono i rivestimenti di gallerie in terreni mobili, e principalmente quando in tali rivestimenti si adottano disposizioni atte ad impedire od almeno a rendere piccole le loro deformazioni, si possono assumere valori di R' , R'' ed R''' anche maggiori di quelli riportati nell'ultima tavola. I valori di R' e di R'' si possono aumentare di 50000 chilogrammi, ed i valori di R'' di 500000 chilogrammi.

Nei giunti che si trovano fra due conci di pietra diligentemente lavorata, si può anche adottare per valore di R'' il coefficiente di rottura per pressione conveniente alla pietra di cui i giunti sono formati, il qual coefficiente, come risulta dalle tavole inserite in quei due volumi della nostra *Arte di fabbricare* nei quali trattasi della *Resistenza dei materiali* e delle *Costruzioni civili, stradali ed idrauliche*, può salire per le migliori nostre pietre, come sono i graniti e le sieniti, fino a chilogrammi 800000 per metro quadrato.

Il coefficiente d'attrito f fra muratura e muratura si può considerare siccome variabile fra 0,57 e 0,75. Le frazioni rappresentanti i tre coefficienti di stabilità n' , n'' ed n''' saranno comprese fra $\frac{1}{10}$ ed $\frac{1}{12}$, e si assumerà siccome variabile fra $\frac{4}{5}$ e $\frac{2}{5}$ il coefficiente di stabilità n'' . Nei rivestimenti fatti con materiali sceltissimi, con cure affatto speciali e con artifizii atti a rendere minime le defor-

mazioni sotto l'azione delle forze su essi operanti, i valori dei coefficienti di stabilità n' , n'' ed n''' possono, eccezionalmente e per qualche punto salire fino alla frazione $\frac{1}{4}$.

19. Modo di applicare la teoria esposta in questo capitolo. — Nell'applicazione pratica dell'esposta teoria convien distinguere tre casi: quello in cui, essendo dato il progetto di una galleria, vuolsi verificare qual grado di stabilità sarà per presentare dopo l'esecuzione; quello in cui è quistione di accertarsi se è stabile una galleria già costrutta; e finalmente quello nel quale trattasi di determinare la gossezza da darsi al rivestimento di una galleria da costruirsi, affinchè stabilmente e permanentemente possa resistere alle azioni di terreni mobili fra cui si deve aprire.

Nel primo caso, s'immaginerà diviso il rivestimento progettato in tante parti mediante giunti normali all'intradosso non molto lontani l'uno dall'altro, e, applicando le formole dei numeri 9 e 11, o, più semplicemente, quelle dei numeri 10 e 11, si determineranno le forze X ed Y e le loro distanze ν e ξ dagli assi coordinati xCx' e Cy (*Fig. 22*) per le porzioni $CF_1, CF_2, CF_3, CF_4, \dots CF'_1, CF'_2, CF'_3, CF'_4, \dots$ di superficie d'estradosso comprese fra la generatrice corrispondente al giunto verticale CK e le generatrici corrispondenti ai giunti considerati $E_1F_1, E_2F_2, E_3F_3, E_4F_4, \dots E'_1F'_1, E'_2F'_2, E'_3F'_3, E'_4F'_4, \dots$. Dopo si determineranno i pesi P delle parti di rivestimento rappresentate in $CKE_1F_1, CKE_2F_2, CKE_3F_3, CKE_4F_4, \dots CKE'_1F'_1, CKE'_2F'_2, CKE'_3F'_3, CKE'_4F'_4, \dots$ e le distanze p di questi pesi dal piano verticale rappresentato nella retta Cy . Fatto questo, traendo partito della terza delle tre conclusioni state riportate nel numero 8 di questo lavoro e dei criteri che vennero indicati nel numero 13, si sceglieranno tre giunti, sui quali verranno prestabiliti i punti d'applicazione delle azioni su essi operanti; e, per maggior semplicità, nel determinare i giunti $E_1F_1, E_2F_2, E_3F_3, E_4F_4, \dots E'_1F'_1, E'_2F'_2, E'_3F'_3, E'_4F'_4, \dots$ l'operatore avrà avuto l'avvertenza di assumerli in modo che fra essi si trovino i tre giunti or ora indicati. Mediante le formole del numero 12 si dedurranno le componenti Q e V della mutua azione delle due parti di rivestimento definite dagli stessi tre giunti; e colle formole del numero 14 si calcoleranno i valori di δ , ossia le distanze dei punti d'applicazione delle azioni sui diversi giunti dall'estradosso. Applicando le formole del numero 15, si determineranno le componenti T ed N delle azioni che hanno luogo su

tutti i giunti considerati; colle formole del numero 16 si calcoleranno le massime resistenze allo schiacciamento ed allo strappamento riferite all'unità di superficie, provocate negli stessi giunti; e finalmente si passerà all'applicazione delle equazioni di stabilità del numero 17. I valori dei coefficienti n' , n'' ed n''' , quando si crede conveniente di tener conto della tenacità delle malte, ed i valori dei coefficienti n'' ed n''' , quando questa tenacità si vuol affatto trascurare, indicheranno il grado di stabilità che sarà per verificarsi in ciascun giunto del rivestimento allorquando venga esso costruito quale venne progettato.

Trattandosi di verificare qual grado di stabilità presenta il rivestimento di una galleria già costrutta in una determinata sezione retta, bisognerà esattamente rilevare questa sezione col profilo del terreno ad essa corrispondente, e procedere quindi colle norme state indicate nel caso precedente. Paragonando la sezione trasversale del rivestimento della galleria quale risulterà dal rilevamento colla sezione trasversale dello stesso rivestimento quale venne progettato, riuscirà facile procacciarsi almeno approssimativamente i valori di ρ , θ , p , e θ , per tre punti della curva d'intradosso quale venne progettata e quale venne rilevata, e quindi dedurre i punti d'applicazione delle azioni su questi giunti colle norme state indicate nel numero 13, e con sicurezza di accostarsi alla verità più di quanto si può sperare nel primo caso, pel quale non si sa bene quali deformazioni saranno per avvenire, dopo l'esecuzione, nel rivestimento progettato.

Il terzo caso è quello in cui si vuol tentare una risoluzione diretta del problema col proporsi la determinazione della grossezza z da assegnarsi al rivestimento, affinchè esso si trovi in buone condizioni di stabilità sotto l'azione delle terre entro le quali si dovrà costruire. Per raggiungere in qualche modo l'intento, bisogna prestabilire nel rivestimento tre giunti EF, GH ed E'F' (*Fig.* 18) ed i punti d'applicazione L, M ed L' delle azioni su questi giunti. Fatto questo, si determineranno le forze X, Y, X', Y', P e P', non che le distanze v , ξ , v' , ξ' , p e p' in funzione della grossezza incognita z . Si troveranno le espressioni delle componenti orizzontale e verticale Q, V, S, U, S' ed U' delle azioni sui detti giunti, si dedurranno le componenti T ed N delle stesse azioni parallele e normali ai giunti stessi, e si instituiranno le equazioni di stabilità per ciascuno dei tre giunti considerati. Per quanto risulta dall'osservazione stata fatta sulle deformazioni e sulla rottura della Galleria dei Giovi, e

nel caso in cui si presuma essere di natura mobile tutto il terreno che deve circondare il rivestimento da progettarsi, si possono stabilire i giunti EF ed E'F' in tali posizioni da fare colla verticale un angolo compreso fra 60° e 55°, ed il giunto GII si può porre in corrispondenza del giunto verticale KC alla chiave. I punti d'applicazione L ed L' delle azioni sui giunti EF ed E'F' si determineranno in modo da essere \overline{FL} ed $\overline{F'L'}$ compresi fra $\frac{1}{3}$ ed $\frac{1}{2}$ di z , ed il punto d'applicazione dell'azione sul giunto KC si prenderà in modo da distare dal punto C più della metà e meno dei $\frac{2}{3}$ di z .

Le equazioni di stabilità pei giunti EF, E'F' e KC saranno allora quelle relative alla pressione ed allo scorrimento, e, applicandole pei tre giunti or indicati, si otterranno sei equazioni che daranno sei valori differenti della grossezza z , ed il maggiore di questi valori sarà quello che generalmente converrà adottare. La risoluzione diretta del problema implica generalmente in calcoli lunghi e difficili, cosicchè nelle pratiche applicazioni riesce quasi sempre più comodo di fare il progetto del rivestimento da costruirsi, di verificare qual grado di stabilità sarebbe per presentare, di accrescerne la spessezza quando non si riconoscesse abbastanza stabile, e di diminuirla quando si riscontrasse un'eccessiva stabilità.

Tanto i calcoli relativi alla verificaione della stabilità, quanto quelli riferentisi alla determinazione diretta della grossezza del rivestimento di una galleria in terreni mobili, notevolmente si semplificano allorquando il rivestimento stesso deve essere simmetrico e simmetricamente sollecitato rispetto al piano verticale determinato dalla retta Cy . In questo caso è orizzontale la mutua azione delle due parti di rivestimento appoggiantisi secondo il giunto verticale, e le determinazioni relative ad una delle indicate parti servono evidentemente anche per l'altra.

CAPITOLO III.

Ricerche teoriche sulla stabilità del primitivo e del nuovo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi rovinato nel principio dell'anno 1873.

20. **Assunto di questo capitolo.** — Nel capitolo I abbiamo fatto una particolarizzata esposizione dei fatti, i quali precedettero ed accompagnarono lo sgraziato avvenimento della rottura succeduta nel giorno 9 gennaio dell'anno 1873 presso l'imbocco sud, in una porzione del rivestimento della Galleria dei Giovi. Esaminando questo avvenimento sotto il punto di vista di un'interessante esperienza sul modo di comportarsi delle terre, le quali si rammolliscono in contatto dell'acqua, contro i rivestimenti di gallerie in esse aperte e sul modo di resistere dei rivestimenti medesimi, e cercando di risalire dagli effetti alle cause efficienti, siamo giunti a concludere:

1° Che queste terre non agiscono per solo peso sui rivestimenti di gallerie in esse praticate, ma che producono contro i rivestimenti medesimi delle enormi spinte orizzontali;

2° Che si possono esse considerare quasi come liquidi di densità eguale a quella che corrisponde al loro stato di plasticità;

3° Che i rivestimenti di gallerie scavate entro queste terre hanno tendenza a deformarsi ed a rompersi per aprimento alla chiave verso l'estradosso, per aprimento sulle reni verso l'intradosso e per aprimento verso terra alla base dei piedritti.

Nel capitolo II abbiamo esposto una teoria, o, per meglio dire, un modesto metodo per la determinazione delle azioni massime che le terre, soggette a rammollimento ed a rigonfiamento in contatto dell'acqua, saranno per esercitare sui rivestimenti di gallerie in esse praticate, sempre quando siano queste ultime stabilite coi loro piedritti o coll'arco rovescio su un fondo resistente ed immobile; per la ricerca del grado di stabilità che presentano gallerie in tali condizioni già costrutte; e per proporzionare i rivestimenti delle gallerie da costruirsi all'importanza delle pressioni massime, cui potranno trovarsi sottoposti.

Per completare quanto ci siamo proposto di dedurre dai fenomeni stati accertati nella rottura e nelle precedenti deformazioni verificatesi nella Galleria dei Giovi, ci resta di studiare qual grado di stabilità poteva presentare il rivestimento primitivo, qual grado di stabilità presenta il rivestimento nuovo; e questo appunto intendiamo di fare in questo terzo capitolo.

2). **Formole determinatrici dei pesi P e dei loro bracci p.** — Prima di applicare alla Galleria dei Giovi i procedimenti di calcolo che abbiamo esposto nel precedente capitolo, è necessario procedere ad alcuni calcoli preliminari aventi per oggetto di stabilire le formole atte alla determinazione dei pesi P di varie parti del rivestimento comprese fra il giunto verticale di chiave KC (*Fig.* 23) e giunti qualunque come EF, non che i bracci $\overline{GR} = p$ di questi pesi per rapporto al piano verticale determinato dalla retta Cy e perpendicolare al piano verticale di proiezione.

Considerando il rivestimento della Galleria dei Giovi, quale venne primitivamente progettato ed eseguito, si ha: che è una mezza circonferenza di circolo BKB' la direttrice della superficie d'intradosso del vólto; che le facce interne dei piedritti sono superficie cilindriche aventi per direttrici gli archi circolari BD e B'D' coi loro centri in O' ed O'' sui prolungamenti di BB'; e che è costante la grossezza del rivestimento medesimo dalla chiave alla base dei piedritti. Chiamando perciò

r_1 il raggio \overline{OK} della mezza circonferenza BKB',

r_2 il raggio \overline{OC} della mezza circonferenza NCN',

ϕ l'angolo COF che un giunto qualunque EF del vólto fa colla verticale, e

Π_1 il peso del metro cubo di muratura,

si ha: che la superficie del settore KOE è

$$\frac{1}{2} \pi r_1^2 \frac{\phi}{180^\circ};$$

che la superficie del settore COF vale

$$\frac{1}{2} \pi r_2^2 \frac{\phi}{180^\circ};$$

e che la superficie della porzione di corona circolare EFCK, differenza fra quelle del secondo e del primo settore, è espressa da

$$\frac{1}{2} \pi (r_e^2 - r_i^2) \frac{\phi}{180^\circ},$$

dove π è il noto rapporto della circonferenza al diametro. Il peso P, della parte di rivestimento avente per sezione retta l'indicata porzione di corona circolare e lunga l'unità, è adunque dato dalla formola

$$P = \frac{1}{2} \pi (r_e^2 - r_i^2) \frac{\phi}{180^\circ} \quad (1).$$

Per quanto spetta alla determinazione del braccio $\overline{GR} = p$ del trovato peso, basta osservare: che il centro di superficie di un settore circolare cade sul raggio che lo divide per metà e che la sua distanza dal centro è quarta proporzionale dopo l'arco, la corda ed i $\frac{2}{3}$ del raggio; che per conseguenza il centro di superficie H del settore KOE è sulla retta OM che divide per mezzo l'angolo COF e che la lunghezza \overline{OH} è data da

$$\overline{OH} = \frac{r_i}{\pi} \frac{240^\circ}{\phi} \operatorname{sen} \frac{1}{2} \phi;$$

e che analogamente il centro di superficie I del settore COF è pure su OM, in modo da essere:

$$\overline{OI} = \frac{r_e}{\pi} \frac{240^\circ}{\phi} \operatorname{sen} \frac{1}{2} \phi.$$

Moltiplicando le due lunghezze di \overline{OH} e di \overline{OI} per $\operatorname{sen} \frac{1}{2} \phi$, si ottengono le due perpendicolari \overline{Hh} ed \overline{Ii} abbassate dai punti H ed I su Cy; e, pel teorema dei momenti applicato per rapporto al piano verticale rappresentato nella retta Cy e col considerare la figura EFCK come la differenza fra il settore COF ed il settore KOE, si ha l'equazione

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \pi (r_e^2 - r_i^2) \frac{\phi}{180^\circ} p \\ &= \frac{1}{2} \pi r_e^2 \frac{\phi}{180^\circ} \frac{r_e}{\pi} \frac{240^\circ}{\phi} \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \phi - \frac{1}{2} \pi r_i^2 \frac{\phi}{180^\circ} \frac{r_i}{\pi} \frac{240^\circ}{\phi} \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \phi, \end{aligned}$$

dalla quale ricavasi

$$p = \frac{r_e^3 - r_i^3}{r_e^2 - r_i^2} \frac{1}{\pi} \frac{240^\circ}{\phi} \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \phi \quad (2).$$

Le formole (1) e (2) si possono soltanto applicare per parti del rivestimento comprese fra il giunto di chiave KC ed un giunto qualunque EF, per le quali non variano i raggi r_e ed r_i nei limiti dell'ampiezza degli angoli ϕ che si vogliono considerare; e quindi, nel caso particolare della Galleria dei Giovi, quale primitivamente si è progettata ed eseguita, le dette formole non servono che per le porzioni del suo rivestimento, le quali corrispondono ai limiti $\phi = 0^\circ$ e $\phi = 90^\circ$. Nell'applicazione della teoria contenuta nel precedente capitolo, può per altro occorrere di dover considerare i pesi di alcune parti del piedritto, come TUNB, comprese fra il giunto d'imposta BN ed un altro giunto qualunque TU; e quindi conviene anche stabilire le formole determinatrici del peso P_1 di una siffatta parte e della distanza $\overline{G_1 R_1} = p_1$ di questo peso dal piano verticale rappresentato nella retta Cy. Indicando perciò con

ρ_i il raggio $\overline{O'B}$ dell'arco circolare BD, con

ρ_e il raggio $\overline{O'N}$ dell'arco concentrico NV, con

ψ l'angolo NO'U che un giunto qualunque TU del piedritto fa coll'orizzonte,

e, considerando la porzione di corona circolare TUNB siccome la differenza fra il settore NO'U ed il settore BO'T, si ottiene per formola determinatrice di P_1 una formola analoga alla (1), ossia

$$P_1 = \frac{1}{2} \Pi_1 \pi (\rho_e^2 - \rho_i^2) \frac{\psi}{180^\circ} \quad (3).$$

Per la determinazione della distinta d_1 , si osserva, che la distanza $\overline{O'H_1}$ del centro di superficie Π_1 del settore BO'T dal punto O' è data da

$$\overline{O'H_1} = \frac{\rho_i}{\pi} \frac{240^\circ}{\psi} \operatorname{sen} \frac{1}{2} \psi;$$

che la distanza $\overline{O'I_1}$ del centro di superficie I_1 del settore NO'U dal punto O' vale

$$\overline{O'I_1} = \frac{\rho_e}{\pi} \frac{240^\circ}{\psi} \operatorname{sen} \frac{1}{2} \psi;$$

e che, moltiplicando $\overline{O'H_1}$ ed $\overline{O'I_1}$ per $\cos \frac{1}{2} \psi$, si ottengono le due perpendicolari $\overline{H_1h_1}$ ed $\overline{I_1i_1}$ abbassate dai punti H_1 ed I_1 su $O'y_1$. Applicando dunque il teorema dei momenti, risulterà per espressione determinatrice della distanza $\overline{G_1r_1}$ un'espressione analoga al secondo membro della (2), salvo che invece delle lettere r_i , r_e e ϕ , vi saranno le lettere ρ_i , ρ_e e ψ , e che, invece del fattore $\text{sen}^2 \frac{1}{2} \phi$, vi sarà il prodotto $\text{sen} \frac{1}{2} \psi \cos \frac{1}{2} \psi = \frac{1}{2} \text{sen} \psi$; cosicchè si avrà

$$\overline{G_1r_1} = \frac{\rho_e^3 - \rho_i^3}{\rho_e^2 - \rho_i^2} \frac{1}{\pi} \frac{120^\circ}{\psi} \text{sen} \psi.$$

Togliendo dalla lunghezza $\overline{G_1r_1}$ la distanza

$$\overline{O'O} = \overline{O'N} - \overline{ON} = \rho_e - r_e,$$

risulta la voluta distanza p_1 , di maniera che si otterrà

$$p_1 = \frac{\rho_e^3 - \rho_i^3}{\rho_e^2 - \rho_i^2} \frac{1}{\pi} \frac{120^\circ}{\psi} \text{sen} \psi - (\rho_e - r_e) \quad (4)$$

per formola determinatrice del braccio di leva del peso P_1 per rapporto al piano verticale determinato dalla verticale Cy e perpendicolare alla retta Cx .

Occorrendo di dover determinare il peso P_{II} della parte di rivestimento comprendente la mezza vólta BNCK ed una porzione di piedritto come TUNB, non che la distanza p_{II} di questo peso dal piano verticale rappresentato nella retta Cy , s'incomincerà col determinare mediante le formole (1) e (2) i valori particolari P_i e p_i di P e di p , i quali corrispondono al mezzo vólto BNCK, e quindi mediante le formole (3) e (4) si calcoleranno i valori di P_1 e di p_1 per la parte di piedritto TUNB. Si otterrà il valore di P_{II} sommando quello di P_i con quello di P_1 , cosicchè si avrà

$$P_{II} = P_i + P_1 \quad (5);$$

e si dedurrà il valore di p_{II} dalla formola:

$$p_{II} = \frac{P_i p_i + P_1 p_1}{P_i + P_1} \quad (6),$$

la quale risulta dall'applicazione del teorema dei momenti, ai pesi in essa contenuti, per rapporto al piano verticale rappresentato nella retta Cy .

Quella parte del rivestimento della Galleria dei Giovi, la quale venne rifatta in seguito alla rovina avvenuta nel 9 gennaio dell'anno 1873, tanto nel vólto, quanto nel piedritto di ponente, ha per direttrice della sua superficie d'intradosso un arco circolare $BKB'\Delta'$ (*Fig. 24*) maggiore della semi-circonferenza, e col suo centro nell'intersezione O della verticale Cy , passante pel mezzo della sezione della galleria, colla orizzontale BB' , situata al livello dell'imposta della vólta del progetto primitivo. La grossezza di questa parte del rivestimento è maggiore di quella che aveva il rivestimento rovinato, ma essa è ancora costante. Segue da ciò che, non essendovi variazione di raggio nel passare dalle direttrici delle superficie curve del vólto alle direttrici delle superficie curve del piedritto di ponente, servono le formole (1) e (2) per determinare il peso P_{II} e la distanza p_{II} di questo peso dal piano verticale rappresentato nella retta Cy per una porzione qualsiasi $T'U'CK$ del rivestimento compresa fra il giunto verticale KC ed un giunto qualunque $T'U'$ del piedritto, senza che si debbano prendere in considerazione le formole (3), (4), (5) e (6). Nell'applicare le citate formole (1) e (2) però bisogna avere l'avvertenza di porre per r_0 ed r_1 i valori dei raggi delle direttrici dell'estradosso e dell'intradosso del nuovo rivestimento.

22. Formole determinatrici delle forze X ed Y e delle distanze ν e ξ . — Per l'applicazione del metodo stato dato nel precedente capitolo sulla determinazione delle grossezze dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili è necessario calcolare la componente orizzontale X e la componente verticale Y della pressione che le terre esercitano su una porzione qualunque della superficie d'estradosso del rivestimento compresa fra due generatrici, e le distanze ν e ξ di queste pressioni dagli assi coordinati Cx e Cy (*Fig. 23*). Ora, le formole, le quali servono per la determinazione di queste quattro quantità, esigono che in esse si sostituiscano le coordinate x ed y di determinati punti della curva $VNCN'V'$ dell'estradosso, e le somme $\int y dx$ ed $\int xy dx$ per la stessa curva prese fra limiti convenienti; cosicchè importa di stabilire immediatamente le formole determinatrici di x , di y , di $\int y dx$ e di $\int xy dx$ pei casi particolari

del rivestimento primitivo e del rivestimento rifatto della Galleria dei Giovi.

Incominciando dai valori di x , di y , di $\int_0^x y dx$ e di $\int_0^x xy dx$ per una porzione qualunque della superficie d'estradosso del vólto compresa fra la generatrice culminante proiettata nel punto C e la generatrice proiettata nel punto F, e supponendo che trattisi del rivestimento primitivo, si ha: che le due lunghezze $\overline{CI_n}$ ed $\overline{I_n F}$ rappresentano rispettivamente i valori di x e di y ; e che, per le denominazioni state stabilite nel precedente numero, queste lunghezze sono date da

$$x = r_e \text{ sen } \phi \tag{1},$$

$$y = r_e (1 - \cos \phi) = 2r_e \text{ sen}^2 \frac{1}{2} \phi \tag{2}.$$

Ponendo questi valori di x e di y non che il valore di dx , che ricavasi differenziando la formola (1), nelle due somme $\int_0^x y dx$ ed $\int_0^x xy dx$, ed osservando che ai limiti 0 ed x corrispondono gli angoli 0° e ϕ , si ottengono le equazioni

$$\int_0^x y dx = r_e^2 \int_0^\phi (1 - \cos \phi) \cos \phi d\phi = r_e^2 \left(\int_0^\phi \cos \phi d\phi - \int_0^\phi \cos^2 \phi d\phi \right),$$

$$\begin{aligned} \int_0^x xy dx &= r_e^3 \int_0^\phi \text{sen } \phi (1 - \cos \phi) \cos \phi d\phi \\ &= r_e^3 \left(\int_0^\phi \text{sen } \phi \cos \phi d\phi - \int_0^\phi \text{sen } \phi \cos^2 \phi d\phi \right). \end{aligned}$$

Ma si sa che

$$\int \cos \phi d\phi = \text{sen } \phi,$$

$$\begin{aligned}\int \cos^2 \phi \, d\phi &= \frac{1}{2} \left(\pi \frac{\phi}{180^\circ} + \operatorname{sen} \phi \cos \phi \right), \\ \int \operatorname{sen} \phi \cos \phi \, d\phi &= \frac{1}{2} \operatorname{sen}^2 \phi, \\ \int \operatorname{sen} \phi \cos^2 \phi \, d\phi &= -\frac{1}{3} \cos^3 \phi;\end{aligned}$$

cosicchè i valori di $\int_0^x y \, dx$ e di $\int_0^x xy \, dx$ si riducono a

$$\begin{aligned}\int_0^x y \, dx &= \frac{1}{2} r_0^2 \left[(2 - \cos \phi) \operatorname{sen} \phi - \pi \frac{\phi}{180^\circ} \right] \quad (3), \\ \int_0^x xy \, dx &= r_0^3 \left(\frac{1}{2} \operatorname{sen}^2 \phi + \frac{1}{3} \cos^3 \phi - \frac{1}{3} \right).\end{aligned}$$

Il valore di $\int xy \, dx$ è suscettivo di ulteriore semplificazione. Infatti, essendo

$$\cos^3 \phi = \cos^2 \phi \cos \phi \quad \text{ed} \quad 1 = \operatorname{sen}^2 \phi + \cos^2 \phi,$$

si ha

$$\frac{1}{2} \operatorname{sen}^2 \phi + \frac{1}{3} \cos^3 \phi - \frac{1}{3} = \frac{1}{6} \operatorname{sen}^2 \phi - \frac{1}{3} \cos^3 \phi (1 - \cos \phi).$$

Ma

$$\operatorname{sen}^2 \phi = 4 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \phi \cos^2 \frac{1}{2} \phi,$$

e

$$1 - \cos \phi = 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \phi,$$

cosicchè

$$\frac{1}{2} \operatorname{sen}^2 \phi + \frac{1}{3} \cos^3 \phi - \frac{1}{3} = \frac{2}{3} \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \phi \left(\cos^2 \frac{1}{2} \phi - \cos^2 \phi \right).$$

Per essere poi

$$\cos \frac{1}{2} \phi + \cos \phi = 2 \cos \frac{3}{4} \phi \cos \frac{1}{4} \phi,$$

$$\cos \frac{1}{2} \phi - \cos \phi = 2 \operatorname{sen} \frac{3}{4} \phi \operatorname{sen} \frac{1}{4} \phi,$$

$$\operatorname{sen} \frac{3}{4} \phi \cos \frac{3}{4} \phi = \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{3}{2} \phi,$$

$$\operatorname{sen} \frac{1}{4} \phi \cos \frac{1}{4} \phi = \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{1}{2} \phi,$$

moltiplicando le prime due di queste quattro equazioni, ed avendo riguardo alle altre due, si ottiene

$$\cos^2 \frac{1}{2} \phi - \cos^2 \phi = 4 \operatorname{sen} \frac{3}{4} \phi \cos \frac{3}{4} \phi \operatorname{sen} \frac{1}{4} \phi \cos \frac{1}{4} \phi = \operatorname{sen} \frac{3}{2} \phi \operatorname{sen} \frac{1}{2} \phi.$$

Questo valore di $\cos^2 \frac{1}{2} \phi - \cos^2 \phi$ conduce a

$$\frac{1}{2} \operatorname{sen}^2 \phi + \frac{1}{3} \cos^3 \phi - \frac{1}{3} = \frac{2}{3} \operatorname{sen}^3 \frac{1}{2} \phi \operatorname{sen} \frac{3}{2} \phi,$$

di maniera che il valore di $\int_0^x xy dx$ risulta

$$\int_0^x xy dx = \frac{2}{3} r_e^3 \operatorname{sen}^3 \frac{1}{2} \phi \operatorname{sen} \frac{3}{2} \phi \quad (4).$$

Considerando ora una parte NU della superficie del piedritto verso terra, lunga l'unità ed avente per direttrice l'arco NU, e ritenendo le denominazioni già state stabilite nel precedente numero, si ha: che il valore dell'ascissa x_1 , del punto U è dato da

$$x_1 = \overline{O'u} - \overline{O'O};$$

e che, per essere

$$\begin{aligned} \overline{O'u} &= \rho_e \cos \psi, \\ \overline{O'O} &= \overline{O'N} - \overline{ON} = \rho_e - r_e, \end{aligned}$$

risulta

$$x_1 = r_e - \rho_e (1 - \cos \psi),$$

ossia, per essere

$$1 - \cos \psi = 2 \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \psi,$$

$$x_1 = r_e - 2 \rho_e \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \psi \quad (5).$$

L'ordinata y_1 non è altro che la verticale $\overline{I_1 U}$, cosicchè si ha

$$y_1 = \overline{I_1 u} + \overline{u U},$$

ossia, per essere

$$\overline{I_1 u} = r_e,$$

$$\overline{u U} = \rho_e \operatorname{sen} \psi,$$

$$y_1 = r_e + \rho_e \operatorname{sen} \psi \quad (5).$$

In quanto alle due somme $\int y_1 dx_1$ ed $\int x_1 y_1 dx_1$, si devono esse prendere fra i limiti definiti dai punti N ed U, ossia fra i limiti r_e ed x_1 , cosicchè avendo riguardo ai valori di x e di y dati dalle formole (5) e (6), si ottiene

$$\begin{aligned} \int_{r_e}^{x_1} y_1 dx_1 &= -\rho_e \int_0^{\psi} (r_e + \rho_e \operatorname{sen} \psi) \operatorname{sen} \psi d\psi \\ &= -r_e \rho_e \int_0^{\psi} \operatorname{sen} \psi d\psi - \rho_e^2 \int_0^{\psi} \operatorname{sen}^2 \psi d\psi, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_{r_e}^{x_1} x_1 y_1 dx_1 &= -\rho_e \int_0^{\psi} \left[r_e - \rho_e (1 - \cos \psi) \right] (r_e + \rho_e \operatorname{sen} \psi) \operatorname{sen} \psi d\psi \\ &= -r_e \rho_e (r_e - \rho_e) \int_0^{\psi} \operatorname{sen} \psi d\psi - r_e \rho_e^2 \int_0^{\psi} \operatorname{sen} \psi \cos \psi d\psi \\ &\quad - \rho_e^2 (r_e - \rho_e) \int_0^{\psi} \operatorname{sen}^2 \psi d\psi - \rho_e^3 \int_0^{\psi} \operatorname{sen}^2 \psi \cos \psi d\psi. \end{aligned}$$

Ora, essendo

$$\int \text{sen } \psi \, d\psi = -\cos \psi,$$

$$\int \text{sen}^2 \psi \, d\psi = \frac{1}{2} \left(\pi \frac{\psi}{180^\circ} - \text{sen } \psi \cos \psi \right) = \frac{1}{2} \left(\pi \frac{\psi}{180^\circ} - \frac{1}{2} \text{sen } 2\psi \right),$$

$$\int \text{sen } \psi \cos \psi \, d\psi = \frac{1}{2} \text{sen}^2 \psi,$$

$$\int \text{sen}^2 \psi \cos \psi \, d\psi = \frac{1}{3} \text{sen}^3 \psi,$$

risulta

$$\int_{r_e}^{x_1} y_1 \, dx_1 = -r_e \rho_e (-\cos \psi + 1) - \frac{1}{2} \rho_e^2 \left(\pi \frac{\psi}{180^\circ} - \frac{1}{2} \text{sen } 2\psi \right)$$

$$\int_{r_e}^{x_1} x_1 y_1 \, dx_1 = -r_e \rho_e (r_e - \rho_e) (-\cos \psi + 1) - \frac{1}{2} r_e \rho_e^2 \text{sen}^2 \psi - \frac{1}{2} \rho_e^2 (r_e - \rho_e) \left(\pi \frac{\psi}{180^\circ} - \frac{1}{2} \text{sen } 2\psi \right) - \frac{1}{3} \rho_e^3 \text{sen}^3 \psi.$$

Osservando poi che

$$-\cos \psi + 1 = 2 \text{sen}^2 \frac{1}{2} \psi,$$

$$\text{sen}^2 \psi = 4 \text{sen}^2 \frac{1}{2} \psi \cos^2 \frac{1}{2} \psi,$$

$$\cos^2 \frac{1}{2} \psi = 1 - \text{sen}^2 \frac{1}{2} \psi,$$

le formole determinatrici delle due somme $\int_{r_e}^{x_1} y_1 \, dx_1$ e $\int_{r_e}^{x_1} x_1 y_1 \, dx_1$, si riducono a

$$\int_{r_e}^{x_1} y_1 \, dx_1 = -\rho_e \left[2r_e \text{sen}^2 \frac{1}{2} \psi + \frac{1}{4} \rho_e \left(\pi \frac{\psi}{90^\circ} - \text{sen } 2\psi \right) \right] \quad (7),$$

$$\int_{r_e}^{x_1} x_1 y_1 dx_1 = -2r_e \rho_e \left(r_e - \rho_e \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \psi \right) \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \psi - \frac{1}{3} \rho_e^3 \operatorname{sen}^3 \psi \\ + \frac{1}{4} \rho_e^2 (\rho_e - r_e) \left(\pi \frac{\psi}{90^\circ} - \operatorname{sen} 2\psi \right).$$

Se finalmente si ha riguardo all'ultimo valore di $\int_{r_e}^{x_1} y_1 dx_1$, il valore

della somma $\int_{r_e}^{x_1} x_1 y_1 dx_1$ risulta

$$\int_{r_e}^{x_1} x_1 y_1 dx_1 = r_e \int_{r_e}^{x_1} y_1 dx_1 \\ - \rho_e^2 \left[\frac{1}{3} \rho_e \operatorname{sen}^3 \psi - 2r_e \operatorname{sen}^2 \frac{1}{2} \psi - \frac{1}{4} \rho_e \left(\pi \frac{\psi}{90^\circ} - \operatorname{sen} 2\psi \right) \right] \quad (8).$$

Avvenendo di dover determinare le due somme $\int_0^{x_1} y_1 dx_1$ ed $\int_0^{x_1} x_1 y_1 dx_1$

per una parte CNU della direttrice della superficie verso terra del rivestimento, la quale si estende alla mezza volta ed al piedritto, mediante le due formole (3) e (4) si calcoleranno le due somme

$\int_0^{r_e} y dx$ ed $\int_0^{r_e} xy dx$ per il quadrante CN e quindi, adoperando le due

formole (7) ed (8), si troveranno le due somme $\int_{r_e}^{x_1} y_1 dx_1$ ed $\int_{r_e}^{x_1} x_1 y_1 dx_1$

per l'arco NU. Le due somme domandate evidentemente si avranno dalle formole

$$\int_0^{x_1} y_1 dx_1 = \int_0^{r_e} y dx + \int_{r_e}^{x_1} y_1 dx_1 \quad (9)$$

$$\int_0^{x_1} x_1 y_1 dx_1 = \int_0^{r_e} xy dx + \int_{r_e}^{x_1} x_1 y_1 dx_1 \quad (10).$$

Quella parte del rivestimento della Galleria dei Giovi, la quale fu rifatta in seguito alla rottura avvenuta nel principio dell'anno 1873, ha per direttrice della sua superficie verso terra un arco circolare $MCN'V'$ (*Fig. 24*) di centro O ed il cui raggio non varia passando dal vólto al piedritto di ponente. Segue da ciò che le due

somme $\int_0^x y dx$ e $\int_0^x xy dx$ date dalle formole (3) e (4) si riducono alle

due somme $\int_0^{x_1} x_1 dx_1$ e $\int_0^{x_1} x_1 y_1 dx_1$ per un arco, come CU' , il quale,

incominciando all'origine delle coordinate C , si estenda fin sopra il piedritto, quando nelle citate formole si pongano per r_e e per ϕ il raggio dell'arco $CN'V'$ e l'angolo COU' che il giunto $T'U'$ fa colla verticale.

Stabilità del primitivo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi rovinato nel principio dell'anno 1873.

23. Come si può accertare il grado di stabilità del primitivo rivestimento. — Come si è fatto rilevare nel capitolo primo, il piedritto di levante del tronco rovinato nel giorno 9 gennaio dell'anno 1873, una parte della vólta da esso portata e l'arco rovescio rimasero perfettamente illesi; e questo fatto induce a credere che le indicate parti del rivestimento si trovassero contro e sopra roccia resistente. Segue da ciò che, riferendosi all'epoca della costruzione della galleria per cercare il grado di stabilità del rivestimento ad essa assegnato, si deve prendere in considerazione quella sola parte del rivestimento medesimo contro la quale o già si trovava terreno imbevuto d'acqua oppure roccia presentante indizi di non lontano rammollimento e rigonfiamento, ossia quella parte che, dal giunto infimo del piedritto di ponente, risale fino al giunto verticale di chiave e quindi discende verso il piedritto di levante fino al giunto del vólto inclinato di circa 30° all'orizzonte.

Si sono considerati nel rivestimento posto dalla parte del piedritto di levante i sei giunti (*Fig. 25*) E_1F_1 , E_2F_2 , E_3F_3 , E_4F_4 , E_5F_5 ed E_6F_6 , inclinati alla verticale di angoli variabili di 10° in 10° ; e, nel rivestimento costituito dal piedritto di ponente e dal mezzo vólto da esso portato, si sono immaginati i dieci giunti $E_1'F_1'$,

$E_2'F_2', E_3'F_3', E_4'F_4', E_5'F_5', E_6'F_6', E_7'F_7', E_8'F_8', B'N'$ e $D'V'$, i primi nove inclinati alla verticale di angoli pure variabili di 10° in 10° ed il decimo corrispondente al piede del piedritto. Per tutti i definiti giunti convien cercare di giungere alla conoscenza delle massime resistenze, riferite all'unità di superficie, tanto normali quanto tangenziali, e di trovare i relativi coefficienti di stabilità. Conosciuti questi coefficienti, sarà facile dedurre qual grado di stabilità poteva presentare il rivestimento primitivo, quali dovevano essere le sue parti più deboli, e contemporaneamente vedere se le teoriche previsioni si trovano d'accordo con quanto effettivamente si è verificato nelle deformazioni e nel successivo sgraziato avvenimento della rottura della Galleria dei Giovi.

24. Determinazione dei pesi P e delle distanze p. — I primi calcoli instituiti sono quelli relativi alla determinazione dei pesi P e delle distanze p di questi pesi dal piano verticale rappresentato nella retta Cy (*Fig.* 25) per le parti di rivestimento $E_1'KCF_1', E_2'KCF_2', E_3'KCF_3', E_4'KCF_4', E_5'KCF_5', E_6'KCF_6', E_7'KCF_7', E_8'KCF_8', B'KCN'$ e $D'B'KCN'V'$; si sono dopo determinate le coordinate x ed y dei punti $F_1', F_2', F_3', F_4', F_5', F_6', F_7', F_8', N'$ e V' rispetto agli assi coordinati Cx' e Cy; e finalmente le

due somme $\int_0^x y dx$ ed $\int_0^x xy dx$ corrispondenti alle parti $CF_1', CF_2',$

$CF_3', CF_4', CF_5', CF_6', CF_7', CF_8', CN'$ e CV' della direttrice della superficie d'estradosso. Per fare questi calcoli in conformità della forma e delle dimensioni state adottate nel rivestimento primitivo del tronco rovinato della Galleria dei Giovi, si assunse

$$\begin{aligned} \overline{OK} &= \overline{OB'} = r_1 = 4^m, \\ \overline{OC} &= \overline{ON'} = r_e = 4,9, \\ \overline{O''B'} &= \overline{O''D'} = \rho_i = 10,1, \\ \overline{O''N'} &= \overline{O''V'} = \rho_e = 11, \\ \overline{OM} &= 1^m,9. \end{aligned}$$

Si è determinato l'angolo $V'O''N'$, considerandolo come uno dei due angoli acuti del triangolo rettangolo $O''d'D'$, e si ottenne

$$V'O''N' = 10^\circ 50' 35''.$$

Per valore del peso del metro cubo di muratura si è assunto

$$\Pi_1 = 2150^{\text{cg}}.$$

Con questi dati e col noto valore 3,14159 . . . del rapporto π della circonferenza al diametro, l'applicazione delle formole state stabilite nei numeri 21 e 22 ha condotto ai risultamenti contenuti nella tavola che segue per tutti i valori dell'angolo ϕ registrati nella prima colonna.

ANGOLI ϕ	PESI P	BRACCI p	ASCISSE x	ORDINATE y	SOMME $\int_0^x y dx$	SOMME $\int_0^x xy dx$
0°	0 ^{cg}	0 ^m	0 ^m	0 ^m	0	0
10	1503	0,39	0,85	0,07	0,02	0,01
20	3006	0,77	1,68	0,30	0,16	0,21
30	4509	1,14	2,45	0,66	0,52	0,96
40	6011	1,49	3,15	1,15	1,14	2,72
50	7514	1,83	3,75	1,75	2,00	5,72
60	9017	2,13	4,24	2,45	3,02	9,80
70	10510	2,40	4,60	3,22	4,04	14,30
80	12023	2,64	4,83	4,05	4,83	18,05
90	13526	2,84	4,90	4,90	5,15	19,61
100 50' 35"	17389	3,18	4,70	6,97	3,92	13,69

La determinazione dei primi dieci valori del peso P venne fatta colla formola (1) del numero 21, e l'ultimo valore di questo peso non è altro che il valore di P_{11} risultante dall'applicazione delle formole (3) e (5) dello stesso numero per $\psi = 10^\circ 50' 35''$. Analogamente, i primi dieci valori del braccio p si ottennero applicando la formola (2) del citato numero 21; ma l'ultimo valore di questo braccio è il valore di p_{11} che si ricava applicando le formole (4) e (6) pel già indicato valore dell'angolo ψ . I primi dieci valori delle ascisse x e delle ordinate y si calcolarono colle formole (1) e (2) del numero 22, e, per ottenere l'ultimo valore dell'una e dell'altra di queste coordinate, fu d'uopo trovare i valori di x_1 e di y_1 dati dalle formole (5) e (6) dello stesso numero. Per trovare i primi

dieci valori delle somme $\int_0^x y dx$ ed $\int_0^x xy dx$ si adoperarono le for-

mole (3) e (4) del citato numero 22; ma, per ottenere l'ultimo valore dell'una e dell'altra di queste somme, si dovette procedere

al calcolo delle somme $\int_0^{x_1} x_1 dy_1$ e $\int_0^{x_1} x_1 y_1 dx_1$, applicando le formole

(7), (8), (9) e (10).

Siccome la sezione trasversale del rivestimento della galleria è simmetrica rispetto alla verticale Cy , e siccome intendesi che per le curve CNV e $CN'V'$ si assumano come positive le ascisse rispettivamente dirette secondo Cx e Cx' , risulta: che i valori dei pesi P e dei bracci p , corrispondenti agli angoli ϕ di 10° , 20° , 30° , 40° , 50° e 60° , sono pure quelli che convengono per le parti di rivestimento E_1KCF_1 , E_2KCF_2 , E_3KCF_3 , E_4KCF_4 , E_5KCF_5 ed E_6KCF_6 ; che i valori delle coordinate x ed y , per gli stessi angoli, sono anche le coordinate dei punti F_1 , F_2 , F_3 , F_4 , F_5 , F_6 ; e che i valori

delle due somme $\int_0^x y dx$ ed $\int_0^x xy dx$, per i sei angoli indicati, sono

ancora quelli che si riferiscono alle parti CF_1 , CF_2 , CF_3 , CF_4 , CF_5 e CF_6 della direttrice della superficie d'estradosso del rivestimento.

25. Determinazione delle forze X ed Y e delle distanze v e ξ .

— Si possono ora applicare le formole state stabilite nel numero 10 per calcolare: le componenti orizzontali X e verticali Y delle pressioni che le terre esercitano contro le superficie cilindriche d'estradosso, lunghe l'unità, rappresentate in CF_1 , CF_2 , CF_3 , CF_4 , CF_5 e CF_6 per la parte di rivestimento che nella figura 25 trovasi a dritta del giunto verticale KC , ed in CF'_1 , CF'_2 , CF'_3 , CF'_4 , CF'_5 , CF'_6 , CF'_7 , CF'_8 , CN' e CV' , per la parte di rivestimento che trovasi a sinistra del giunto stesso; le distanze v e ξ di queste pressioni dagli assi coordinati Cx e Cy . Le formole determinatrici di queste quantità sono le (5), (6), (7) ed (8) del citato numero 10, nelle quali si porranno: per H il peso del metro cubo di terra imbevuta d'acqua che nel caso concreto si può assumere di 2100 chi-

logrammi; per x, y , $\int_0^x y dx$ ed $\int_0^x xy dx$, i loro valori contenuti

nella tavola del numero precedente. Osservando poi che il profilo trasversale della superficie superiore del terreno, in corrispondenza del tronco di Galleria dei Giovi a cui si riferiscono queste ricerche, non è una linea orizzontale; ma sibbene una linea curva, la quale fa sì che l'altezza di carico dalla parte del piedritto di ponente sia maggiore di quella che si verifica dalla parte del piedritto di le-

vante, si è giudicato opportuno di determinare due differenti altezze medie di carico, una di 12 metri pel calcolo delle quantità X, Y, v e ξ riferentisi alle porzioni di superficie d'estradosso rappresentate in $CF_1, CF_2, CF_3, CF_4, CF_5$ e CF_6 , l'altra di 13 metri per il calcolo delle quantità X', Y', v' e ξ' analoghe alle X, Y, v e ξ , ma riferentisi alle porzioni di superficie d'estradosso proiettate in $CF_1', CF_2', CF_3', CF_4', CF_5', CF_6', CF_7', CF_8', CN'$ e CV' .

Per l'altezza di carico $c=12^m$, le formole citate hanno condotto ai seguenti lavori di X, Y, v e ξ corrispondenti agli angoli ϕ contenuti nella prima colonna.

ANGOLI ϕ	PRESSIONI orizzontali X	PRESSIONI verticali Y	DISTANZE v	DISTANZE ξ
0°	0 ^{cg}	0 ^{cg}	0 ^m	0 ^m
10	1769	21462	0,04	0,43
20	7654	42672	0,15	0,84
30	17089	62832	0,33	1,24
40	30369	81744	0,58	1,60
50	47316	98700	0,89	1,92
60	68043	113190	1,26	2,18

Per l'altezza di carico $c=13^m$, le stesse formole hanno condotto ai valori X', Y', v' e ξ' di X, Y, v e ξ contenuti nella tavola che segue

ANGOLI ϕ	PRESSIONI orizzontali X'	PRESSIONI verticali Y'	DISTANZE v'	DISTANZE ξ'
0°	0 ^{cg}	0 ^{cg}	0 ^m	0 ^m
10	1916	23247	0,04	0,43
20	8284	46200	0,15	0,84
30	18475	67977	0,33	1,23
40	32784	88387	0,58	1,60
50	50991	106575	0,89	1,91
60	73188	122094	1,26	2,18
70	98793	134064	1,66	2,38
80	127788	142002	2,12	2,51
90	158981	144585	2,58	2,55
100 50 35"	241291	136544	3,73	2,42

26. **Mutua azione fra due determinate parti del rivestimento.**

— Completamente determinate le forze operanti sulle diverse parti di rivestimento definite dagli assunti valori dell'angolo ϕ , si può procedere alla ricerca della mutua azione la quale ha luogo fra due determinate porzioni del rivestimento medesimo. Ora, risultando dai dati d'esperienza, sui quali è fondato il metodo di calcolo che qui si applica, la tendenza del vólto a dividersi in due parti presso a poco comprese fra il giunto verticale di chiave KC (*Fig.* 25) ed i due giunti E_6F_6 ed $E_6'F_6'$ facenti angolo di 60° colla verticale, si è creduto opportuno di considerare le due parti di vólta E_6KCF_6 ed $E_6'KCF_6'$ e di determinare la loro mutua azione sul giunto KC. Per fare questa determinazione è necessario prestabilirsi i punti di applicazione delle pressioni sui tre giunti KC, E_6F_6 ed $E_6'F_6'$, e, nel caso particolare, ho assunti i tre punti H, G e G' situati nel mezzo dei giunti suddetti. Per giustificare in qualche modo questa scelta, basta osservare che il rivestimento, quando si trascuri il suo peso siccome costituente una forza piccola in confronto della pressione delle terre, trovasi sollecitato da forze normali alla sua superficie d'estradosso; che tali forze, riferite all'unità di lunghezza del rivestimento e del suo asse, sono presso che costanti per le parti più elevate del vólto e fin verso i giunti facenti angoli di 60° alla verticale; che queste parti, avendo per asse un arco circolare, hanno sensibilmente la figura d'equilibrio; e che per conseguenza, semprechè il costruttore faccia i suoi progetti in modo da dare a queste parti del rivestimento grossezza conveniente alla pressione che sopporteranno, anche supposta uniformemente ripartita, non potranno in esse verificarsi che piccole deformazioni. Ma, per quanto si è detto nel numero 13, a nessuna e a piccole deformazioni in dati punti del rivestimento corrispondono pressioni applicate nel mezzo o pressioni applicate a piccole distanze dal mezzo dei giunti, cosicchè nel caso concreto non si può andar lungi dal vero coll'ammettere che le pressioni sui giunti KC, E_6F_6 ed $E_6'F_6'$ siano applicate nei loro punti di mezzo H, G e G'.

Per ottenere la mutua azione fra le due parti E_6KCF_6 ed $E_6'KCF_6'$ del rivestimento, servono le formole (3), (6) e (7) state stabilite nel numero 12, la (3) per la determinazione delle quantità ausiliarie A ed A', e le (6) e (7) per la determinazione della componente orizzontale Q e della componente verticale V della mutua azione domandata. Le lettere P e P' rappresentano i pesi delle due parti di rivestimento E_6KCF_6 ed $E_6'KCF_6'$; p e p' sono le distanze di questi

pesi dalla Cy . Le lettere X ed Y , X' ed Y' sono le componenti orizzontali e verticali delle pressioni che le terre esercitano sulle superficie cilindriche d'estradosso, lunghe l'unità, proiettate in CF_6 e CF'_6 ; v e ξ , v' e ξ' sono le distanze di queste componenti dagli assi xCx' e Cy . Le lettere a e b rappresentano le due coordinate del punto G , ed analogamente a' e b' quella del punto G' . La lettera d è l'ordinata \overline{CH} del punto H . Nel caso particolare si ha

$$\begin{aligned} P &= P' = 9017^{\text{Cg}}, \\ p &= p' = 2^{\text{m}},13, \\ X &= 68043^{\text{Cg}}, & v &= 1^{\text{m}},26, \\ Y &= 113190 \quad , & \xi &= 2 \quad ,18, \\ X' &= 73188 \quad , & v' &= 1 \quad ,26, \\ Y' &= 122094 \quad , & \xi' &= 2 \quad ,18, \\ d &= 0^{\text{m}},45. \end{aligned}$$

Tanto le due ascisse, quanto le due ordinate dei punti F_6 ed F'_6 sono eguali fra di loro, e, come risulta dalla tavola del numero 24, esse sono rispettivamente di $4^{\text{m}},24$ e di $2^{\text{m}},45$. I giunti E_6F_6 ed $E'_6F'_6$ fanno ambedue angolo di 60° colla verticale, e quindi si ha

$$\begin{aligned} a &= a' = 4,24 - 0,45 \text{ sen } 60^\circ = 3^{\text{m}},850. \\ b &= b' = 2,45 + 0,45 \text{ cos } 60^\circ = 2 \quad ,675. \end{aligned}$$

Le formole (3) del numero 12 danno

$$\begin{aligned} A &= 300817, \\ A' &= 322967; \end{aligned}$$

e quindi si deduce dalle formole (6) e (7) dello stesso numero

$$\begin{aligned} Q &= 140176^{\text{Cg}}, \\ V &= 2877 \quad . \end{aligned}$$

Il valore positivo di V porta a concludere che la componente verticale dell'azione della parte di rivestimento $E'_6KCF'_6$ contro l'altra parte E_6KCF_6 è diretta dall'alto al basso, ossia da H verso y ; e che per conseguenza quest'azione opera nella direzione di una

retta H_z passante sotto l'orizzontale HQ . Viceversa, l'azione della parte di rivestimento E_6KCF_6 contro l'altra parte $E_6'KCF_6'$ si trova nella direzione H_z' sul prolungamento di H_z al di sopra dell'orizzontale HQ' .

27. Azioni che hanno luogo su diversi giunti di rivestimento.

— Si possono ora calcolare le componenti orizzontali e le componenti verticali delle azioni che hanno luogo sui diversi giunti, definiti dagli angoli ϕ già stati considerati nei numeri 24 e 25; e servono allo scopo le formole (1) e (2) state stabilite nel numero 14. Pei giunti appartenenti alla parte E_6KCF_6 (*Fig.* 25) del rivestimento, si calcoleranno le componenti orizzontali S e le componenti verticali U delle dette azioni mediante le formole (1), e, pei giunti dell'altra parte $D'KCV'$, si determineranno le componenti orizzontali S' e le componenti verticali U' delle analoghe azioni colle formole (2). I valori di P sono quelli contenuti nella tavola del numero 24, i valori di X , Y , X' ed Y' si hanno nei quadri del numero 25, ed i valori di Q e di V sono quelli stati determinati nel precedente numero.

L'applicazione delle citate formole conduce ai risultamenti registrati nella tavola che segue:

ANGOLI ϕ	COMPONENTI S	COMPONENTI U	COMPONENTI S'	COMPONENTI U'
0°	140176 ^{cg}	2877 ^{cg}	140176 ^{cg}	— 2877 ^{cg}
10	138407	25842	138260	21873
20	132522	48555	131892	46329
30	123087	70218	121701	69609
40	109807	90662	107392	91512
50	92860	109091	89185	111212
60	72133	125084	66988	128234
70			41383	141707
80			12388	151148
90			— 18805	155234
100 50' 35"			— 101115	151056

28. Punti d'applicazione delle azioni state considerate nel numero precedente. — Non basta conoscere le azioni che hanno luogo sui differenti giunti, definiti dagli angoli ϕ stati considerati nei numeri 24, 25 e 27, ma importa ancora di conoscere le posi-

zioni dei punti d'applicazione delle azioni stesse, posizioni le quali si possono determinare mediante le distanze dei detti punti dall'estradosso. Le formole determinatrici di δ e di δ' , state dedotte nel numero 14, servono per il calcolo delle indicate distanze, e queste formole si riducono, nel caso particolare, a

$$\delta = \frac{-Q(y-d) + Vx + P(x-p) + X(y-v) + Y(x-\xi)}{S \cos \phi + U \sin \phi} \quad (1)$$

pei giunti della parte di rivestimento E_0KCF_0 (*Fig.* 25), a

$$\delta' = \frac{-Q(y-d) - Vx + P(x-p) + X'(y-v') + Y'(x-\xi')}{S' \cos \phi + U' \sin \phi} \quad (2)$$

pei giunti della parte di rivestimento $D'KCV'$. Pei successivi valori di ϕ già stati considerati nei precedenti numeri, si porranno successivamente in queste formole per P , p , x ed y i loro valori inscritti nella tavola del numero 24; per X , Y , v e ξ , per X' , Y' , v' e ξ' i loro valori registrati nelle tavole del numero 25; per d , Q e V i loro valori stati indicati nel numero 26; e finalmente per S , U , S' ed U' i loro valori contenuti nella tavola del numero 27.

Effettuando le calcolazioni delle distanze δ e δ' , si ottengono i risultati contenuti nella seguente tavola.

ANGOLI ϕ	DISTANZE δ	DISTANZE δ'
0°	0 ^m ,45	0 ^m ,45
10	0 ,46	0 ,44
20	0 ,46	0 ,42
30	0 ,46	0 ,42
40	0 ,46	0 ,41
50	0 ,45	0 ,43
60	0 ,45	0 ,45
70		0 ,50
80		0 ,57
90		0 ,64
100 50' 35"		1 ,15

29. Componenti normali e tangenziali delle azioni operanti sui giunti. — Le componenti S ed U , S' ed U' delle azioni sui giunti stati considerati nei precedenti numeri, vengono in acconcio

per la determinazione delle due componenti delle stesse azioni, normali e contenute nei giunti a cui esse si riferiscono. Essendo N e T queste due componenti pei giunti della parte di rivestimento E_0KCF_0 (Fig. 25) ed N' e T' le stesse componenti pei giunti della parte D'KCV', le formole che servono alla loro determinazione sono quelle del numero 15, ossia le

$$N = S \cos \phi + U \sin \phi,$$

$$T = U \cos \phi - S \sin \phi,$$

$$N' = S' \cos \phi + U' \sin \phi,$$

$$T' = U' \cos \phi - S' \sin \phi.$$

I risultamenti dei calcoli fatti con queste formole si trovano nelle ultime quattro colonne della seguente tavola

ANGOLI ϕ	COMPONENTI N	COMPONENTI T	COMPONENTI N'	COMPONENTI T'
0°	140176 ^{Cg}	2877 ^{Cg}	140176 ^{Cg}	— 2877 ^{Cg}
10	140792	1415	139958	— 2468
20	141137	197	139783	— 1575
30	141705	— 733	140240	— 567
40	142393	— 1131	141095	1079
50	143258	— 1013	142524	2216
60	144389	75	144545	6105
70			147316	9578
80			151003	14047
90			155234	18805
100 50' 35''			167381	70918

30. Resistenze riferite all'unità di superficie in diversi giunti del rivestimento. — Conoscendosi le lunghezze dei giunti del rivestimento della galleria, le azioni ad essi normali e le distanze dei punti d'applicazione di queste azioni dall'estradosso, si possono determinare le resistenze alla pressione ed allo strappamento, riferite all'unità di superficie, provocate lungo le linee, in cui i giunti definiti dagli angoli ϕ incontrano le superficie d'intradosso e d'extra-

dosso. Queste resistenze assai facilmente si calcolano colle formole state stabilite nel numero 16, ossia colle formole

$$K_i = 2 \left(-1 + 3 \frac{\delta}{z} \right) \frac{N}{z},$$

$$K_e = 2 \left(2 - 3 \frac{\delta}{z} \right) \frac{N}{z},$$

pei giunti della parte di rivestimento $E_0 K C F_0$ (*Fig. 25*), e colle formole

$$K_i' = 2 \left(-1 + 3 \frac{\delta'}{z} \right) \frac{N'}{z},$$

$$K_e' = 2 \left(2 - 3 \frac{\delta'}{z} \right) \frac{N'}{z},$$

pei giunti della parte di rivestimento $D' K C V'$.

Per l'applicazione delle citate formole al rivestimento primitivo della Galleria dei Giovi, bisogna porre $z = 0^m,90$, servirsi dei valori di δ e di δ' che si trovano nella tavola del numero 28 ed adoperare i valori di N e di N' contenuti nella tavola del numero 29. Così facendo si giunge ai risultamenti contenuti nella tavola che segue

ANGOLI φ	RESISTENZE K_i	RESISTENZE K_e	RESISTENZE K_i'	RESISTENZE K_e'
0°	155751 ^{Cg}	155751 ^{Cg}	155751 ^{Cg}	155751 ^{Cg}
10	166917	146017	145245	165772
20	167329	146475	124252	186377
30	167999	147058	124658	186987
40	168815	147772	115071	198473
50	159176	159176	137140	179580
60	160432	160432	160606	160606
70			218355	109014
80			302006	33556
90			390845	— 45880
100 50' 35"			1053750	— 681795

I due valori negativi di K_e' pei giunti, cui corrispondono gli angoli ϕ di 90° e di $100^\circ 50' 35''$, indicano che in essi e dalla parte dell'estradosso trovasi provocata la resistenza allo strappamento.

Dividendo i valori di T e di T' della tavola del numero precedente per la superficie dei giunti a cui essi si riferiscono e quindi per $z = 0^m,90$, giacchè si è sempre considerata una parte di rivestimento lunga l'unità, si ottengono nei quozienti le resistenze K e K' riferite all'unità di superficie provocate nei piani dei giunti medesimi. La tavola che qui si presenta dà i valori di K pei sette giunti della parte di rivestimento E_0KCF_0 , ed i valori di K' per gli undici giunti della parte di rivestimento $D'KCV'$

ANGOLI ϕ	RESISTENZE K	RESISTENZE K'
0°	3197 ^{Cg}	— 3197
10	1572	— 2742
20	219	— 1750
30	— 814	— 630
40	— 1257	1199
50	— 1126	2462
60	83	6783
70		10642
80		15608
90		20894
$100\ 50\ 35''$		78797

31. **Stabilità del primitivo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi rovinato nel principio dell'anno 1873.** — Indicando, per ciascuno dei giunti già stati considerati nei calcoli precedenti, con K_m'' il più grande dei valori positivi di K_1 e di K_2 , oppure di K_1' e di K_2' , con K_m' il valore assoluto dei due K_e' che si trovarono negativi, si hanno le seguenti equazioni di stabilità relative allo strappamento ed alla pressione

$$n' R' = K_m' \quad (1),$$

$$n'' R'' = K_m'' \quad (2),$$

la seconda delle quali si deve indistintamente applicare, nel caso concreto, per tutti i giunti, mentre la prima si deve solo applicare pei due giunti ai quali corrispondono valori negativi di K'_e .

Oltre le equazioni di stabilità relative allo strappamento ed alla pressione, converrà anche istituire per ciascun giunto quella relativa allo scorrimento. Chiamando perciò K , il valore assoluto della resistenza allo scorrimento riferita all'unità di superficie, si avrà

$$n''' R''' = K, \quad (3).$$

I valori di K_m' , di K_m'' e di K , che si trovano nelle equazioni (1), (2) e (3), devono essere desunti dalle tavole del precedente numero, ed i valori dei coefficienti di rottura R' , R'' ed R''' , trattandosi di muratura diligentata, con mattoni scelti e con malte tenaci, si possono anche assumere un po' maggiori di quelli stati riportati nella tavola del numero 18, ossia

$$R' = 220000 \text{Cg}$$

$$R'' = 1750000$$

$$R''' = 220000$$

per ogni metro quadrato. Ricavando con questi dati i coefficienti di stabilità n' , n'' ed n''' , si trovano pei giunti della parte di rivestimento $E_6 K C F_6$ (*Fig. 25*) i valori dei coefficienti n'' ed n''' contenuti nella tavola che segue

ANGOLI φ	COEFFICIENTI n''	COEFFICIENTI n'''
0°	0,09	0,015
10	0,10	0,007
20	0,10	0,001
30	0,10	0,004
40	0,10	0,006
50	0,09	0,005
60	0,09	0,0004

e pei giunti della parte di rivestimento D'KCV' i valori dei coefficienti n' , n'' ed n''' contenuti in questa seconda tavola

ANGOLI φ	COEFFICIENTI n'	COEFFICIENTI n''	COEFFICIENTI n'''
0°		0,09	0,015
10		0,10	0,012
20		0,11	0,008
30		0,11	0,003
40		0,11	0,005
50		0,10	0,011
60		0,09	0,031
70		0,13	0,048
80		0,17	0,071
90	0,21	0,22	0,095
100 50' 35''	3,10	0,60	0,358

Essendo generalmente ammesso dai più prudenti costruttori pratici che i coefficienti di stabilità per strappamento, per pressione e per scorrimento non debbano nelle opere murali essere maggiori di 0,1 od almeno che possano superare ben di poco questa frazione, si desume dai numeri contenuti nelle precedenti tavole: esservi nella parte di rivestimento $E_6 K E_6' F_6' C F_6$ quel grado di stabilità che appena appena si ammette come sufficiente dai più prudenti costruttori; esservi nella parte di rivestimento $B' E_6' F_6' N'$ deficienza di stabilità, ma non ancora compromettente la sicurezza dell'opera; esservi nel piedritto $D' B' N' V'$ deficienza assoluta di stabilità; e finalmente essere la rovina, avvenuta nella Galleria dei Giovi nel giorno 9 gennaio dell'anno 1873, una conseguenza delle dimensioni insufficienti e principalmente della forma, non conveniente alla circostanza particolare, stata primitivamente assegnata ai piedritti.

Il coefficiente di stabilità $n' = 3,10$ per giunto $D' V'$ indica che la resistenza allo strappamento riferita all'unità di superficie, la quale sarebbe stata provocata dalle forze operanti sul rivestimento nell'ipotesi delle terre ridotte allo stato di pastosità, nel punto V' avrebbe raggiunto oltre il triplo della resistenza allo strappamento di cui era capace la muratura; e quindi viene naturale di conchiu-

dere che la rovina di cui parlasi avvenne prima che le terre avessero quello stato di mobilità che si è supposto nel dedurre il metodo di calcolo stato applicato.

Anche nell'ipotesi che il rivestimento della Galleria dei Giovi fosse stato costruito con muratura così perfetta da potere stabilmente resistere allo sforzo di trazione di 681795 chilogrammi per metro quadrato, esso sarebbe riuscito instabile nel giunto infimo D'V' a motivo dell'enorme pressione riferita all'unità di superficie nel punto D'. Il coefficiente di stabilità $n'' = 0,60$ per questo giunto, essendo maggiore del coefficiente 0,4 il quale si può ritenere come corrispondente ad un principio di snervamento, accenna che la muratura avrebbe finito per snervarsi, e che per conseguenza, continuando l'azione delle forze sollecitanti, sarebbe immancabilmente avvenuta la rovina.

Il coefficiente di stabilità $n''' = 0,358$, essendo prossimo a 0,4, indica che, quand'anche nel giunto D'V' vi fosse stata stabilità per rapporto allo strappamento ed allo schiacciamento, pure sarebbe stato prossimo un principio di snervamento nel piano del giunto medesimo, il quale snervamento, perdurando l'azione delle forze sollecitanti, avrebbe forse finito per portare alla rottura. Se però osservasi che, una volta distrutta la resistenza allo scorrimento dovuto alla tenacità delle malte, entra in giuoco la resistenza d'attrito, che la stabilità dovuta a quest'ultima resistenza è marcata dal valore del coefficiente di stabilità n^v dato dall'equazione

$$T' = n^v f N',$$

quando in essa si faccia

$$T' = 70918^{\text{cg}},$$

$$N' = 167381,$$

$$f = 0,75$$

e che il valore di n^v risulta 0,56, ossia compreso fra $\frac{4}{5} = 0,8$ e $\frac{2}{5} = 0,4$, si vede come la resistenza dovuta all'attrito sarebbe stata sufficiente per dare la necessaria stabilità, e come non sarebbe stato il caso di preoccuparsi della mancanza di resistenza allo scorrimento nel piano del giunto D'V'.

Le deformazioni manifestatesi nel tronco di Galleria dei Giovi in

cui avvenne la rottura nel principio dell'anno 1873, ed i successivi aumenti che in questa deformazione si rimasero dall'epoca della loro apparizione fino all'epoca della rovina, sono fatti i quali portano a concludere che il terreno in cui la galleria venne praticata non era primitivamente fornito di tutta quella potenza premente la quale valse in seguito a produrre il grave disastro, e che una tale potenza andò esso successivamente e gradatamente acquistando per le condizioni di composizione e di località in cui trovavasi. Abbondano nei Giovi le argille scagliose, le quali in contatto dell'acqua si rammolliscono e rigonfiano producendo enormi spinte contro i corpi che le sostengono; ed avvenne appunto che, trovandosi tali argille in contatto del rivestimento rovinato ed in presenza d'acque d'infiltrazione, a poco a poco si verificò quel grado di rammollimento e di rigonfiamento che valse a produrre la rottura. Questo fatto poi deve aver avuto origine per aprimento del giunto infimo del piedritto in V' (*Fig.* 26) e per rotazione attorno a D' . Intanto questa rotazione di necessità deve averne prodotta un'altra in β presso il giunto, il quale fa angolo di circa 60° colla verticale, una terza in K presso a poco in corrispondenza del giunto di chiave, ed una quarta in h nelle vicinanze del giunto della mezza volta portata dal piedritto di levante, il quale fa pur angolo di circa 60° colla verticale. Le pressioni negli ultimi indicati tre giunti di necessità dovevano portarsi presso le cerniere di rotazione, e quindi lo schiacciamento dei materiali in D' e K , e le fenditure in d ed e , come effettivamente avvenne quando era imminente la rottura.

Stabilità del rivestimento rifatto nel tronco di Galleria dei Giovi rovinato nel principio dell'anno 1873.

32. **Come si può accertare il grado di stabilità del nuovo rivestimento.** — Il nuovo rivestimento, stato eseguito nella Galleria dei Giovi in seguito alla disgrazia del 9 gennaio dell'anno 1873, incomincia con un addentellato (*Fig.* 24) nell'arco rovescio dalla parte di ponente, si eleva fino alla chiave, e quindi discende verso il piedritto di levante arrestandosi presso il giunto, il quale fa un angolo di circa 40° colla verticale.

Per verificare la stabilità di quest'opera, si possono considerare: nella parte di rivestimento $EKCF$ i giunti E_1F_1 , E_2F_2 , E_3F_3 ed

EF facenti rispettivamente gli angoli di 10° , di 20° , di 30° e di $36^\circ 52' 12''$ colla verticale; nell'altra parte D'KCV' i giunti $E_1'F_1'$, $E_2'F_2'$, $E_3'F_3'$, $E_4'F_4'$, $E_5'F_5'$, $E_6'F_6'$, $E_7'F_7'$, $E_8'F_8'$, B'N' e T'U' assunti in modo da fare colla verticale angoli variabili di 10° in 10° , non che i due giunti E'F' e D'V' talmente disposti da risultare rispettivamente di $56^\circ 37' 59''$ e di $112^\circ 47' 56''$ i loro angoli colla verticale. I tre giunti EF, E'F' e D'V' corrispondono alle superficie di posa delle pietre di mezzo dei filari in pietra da taglio, che assai opportunamente furono posti alle reni ed al piede del nuovo rivestimento. Determinando per tutti questi giunti la massima resistenza, riferita all'unità di superficie, tanto normale quanto tangenziale, e trovando i relativi coefficienti di stabilità, riesce facile dedurre qual grado di sicurezza presenta l'opera e quali sono le parti che si devono ritenere come meno stabili.

33. **Determinazione dei pesi P e delle distanze p.** — I primi calcoli da instituirsi, analogamente a quanto già si è fatto pel primitivo rivestimento, consistono: nella determinazione dei pesi P e delle distanze p di questi pesi dal piano verticale rappresentato nella retta Cy (*Fig.* 24) per le parti di rivestimento EKCF, $E_1'KCF_1'$, $E_2'KCF_2'$, $E_3'KCF_3'$, $E_4'KCF_4'$, $E_5'KCF_5'$, E'KCF', $E_6'KCF_6'$, $E_7'KCF_7'$, $E_8'KCF_8'$, B'KN', T'KCU' e D'KCV'; nella ricerca delle coordinate x ed y dei punti F, F_1' , F_2' , F_3' , F_4' , F_5' , F', F_6' , F_7' , F_8' , N', U' e V' rispetto agli assi coordinati xCax' e Cy;

nella determinazione delle due somme $\int_0^x y dx$ ed $\int_0^x xy dx$ corrispondenti

alle parti CF, CF_1' , CF_2' , CF_3' , CF_4' , CF_5' , CF', CF_6' , CF_7' , CF_8' , CN', CU' e CV' della direttrice della superficie d'estradosso. Gli elementi da adottarsi per fare questi calcoli sono

$$\overline{OK} = \overline{OT'} = r_1 = 4^m,$$

$$\overline{OC} = \overline{OU'} = r_e = 5,20,$$

$$\Pi_1 = 2150^{\text{cg}};$$

servono allo scopo le formole state stabilite nei numeri 21 e 22; e si ottengono i risultati contenuti nella seguente tavola

ANGOLI φ	PESI P	BRACCI p	ASCISSE x	ORDINATE y	SOMME $\int_0^x y dx$	SOMME $\int_0^x xy dx$
0°	0 ^{Cg}	0 ^m	0 ^m	0 ^m	0	0
10	2071	0,40	0,90	0,07	0,02	0,01
20	4143	0,79	1,78	0,32	0,18	0,25
30	6214	1,18	2,60	0,70	0,59	1,15
36 52' 12''	7637	1,44	3,12	1,04	1,03	2,44
40	8286	1,55	3,34	1,22	1,28	3,25
50	10357	1,89	3,98	1,86	2,25	6,84
56 37 59	11731	2,11	4,34	2,34	3,01	9,97
60	12429	2,21	4,50	2,60	3,40	11,71
70	14500	2,49	4,88	3,42	4,55	17,09
80	16572	2,74	5,12	4,30	5,44	21,57
90	18643	2,94	5,20	5,20	5,80	23,44
100	20714	3,11	5,12	6,10	5,34	21,07
112 47 56	23365	3,26	4,79	7,21	3,25	10,15

I pesi P furono determinati colla formola (1) del numero 21 ed i bracci p colla formola (2) dello stesso numero, si adottarono le formole (1) e (2) del numero 22 per il calcolo delle coordinate x ed

y , e le formole (3) e (4) per ottenere le somme $\int_0^x y dx$ e $\int_0^x xy dx$.

Alla parte LKCM del nuovo rivestimento, posto a dritta del piano verticale rappresentato nella retta Cy , corrisponde una parte simmetricamente collocata, a sinistra dello stesso piano; e quindi nella riportata tabella si trovano i valori di P, di p , di x , di y , di

$\int_0^x y dx$ e di $\int_0^x xy dx$ occorrenti alla verificaione della stabilità del-

l'intero rivestimento rifatto.

34. Determinazione delle forze X ed Y e delle distanze v e ξ .

— Le componenti orizzontali e verticali delle pressioni dalle terre esercitate contro le superficie cilindriche d'estradosso, lunghe l'unità, rappresentate in CF_1 , CF_2 , CF_3 e CF (*Fig. 24*), non che le distanze di queste componenti degli assi coordinati Cx e Cy , sono state calcolate nell'ipotesi di $c = 12^m$ e di $\Pi = 2100^{Cs}$. Le analoghe quan-

tità per le superficie cilindriche rappresentate in CF_1' , CF_2' , CF_3' , CF_4' , CF_5' , CF' , CF_6' , CF_7' , CF_8' , CN' , CU' e CV' sono state determinate per lo stesso valore di Π e per $c=13^m$.

Applicando le formole (5), (6), (7) ed (8) del numero 10, si ebbero, nel caso di $c=12^m$, i valori di X , Y , v e ξ contenuti nella seguente tavola

ANGOLI φ	PRESSIONI orizzontali X	PRESSIONI verticali Y	DISTANZE v	DISTANZE ξ
0°	0 ^{cg}	0 ^{cg}	0 ^m	0 ^m
10	1769	22722	0,04	0,04
20	8172	45234	0,16	0,89
30	18155	66759	0,35	1,31
36 52' 12''	27344	80787	0,53	1,58

Analogamente, per il caso di $c=13^m$ ed applicando le stesse formole, si giunse ai valori X' , Y' , v' , ξ' di X , Y , v e ξ contenuti in questa seconda tavola

ANGOLI φ	PRESSIONI orizzontali X'	PRESSIONI verticali Y'	DISTANZE v'	DISTANZE ξ'
0°	0 ^{cg}	0 ^{cg}	0 ^m	0 ^m
10	1920	24612	0,04	0,45
20	8844	48972	0,16	0,89
30	19625	72219	0,35	1,31
40	34869	93870	0,62	1,70
50	54411	113400	0,95	2,03
56 37' 59''	69631	124803	1,28	2,23
60	78078	129990	1,34	2,32
70	105647	142779	1,78	2,53
80	136805	151200	2,25	2,67
90	170352	154140	2,74	2,71
100	205601	150990	3,24	2,66
112 47 56	251416	137592	3,87	2,43

35. **Mutua azione fra due determinate parti del rivestimento.**

— La determinazione dell'azione che ha luogo alla chiave del vólto può essere fatta considerando le due parti $EKCF$ (*Fig.* 24) ed $E'KCF'$, appoggiantisi l'una contro l'altra in KC ; la prima limitata al giunto il quale fa l'angolo di $36^\circ 52' 12''$ colla verticale; la seconda estendentesi fino al giunto $E'F'$, la cui deviazione angolare dalla verticale è di $56^\circ 37' 59''$. Si è creduto conveniente di assumere i punti d'applicazione delle pressioni sui detti giunti in corrispondenza dei loro punti di mezzo G , H e G' ; e giustifica questa scelta la circostanza di avere la parte di rivestimento $EKE'F'CF$ una forma che poco si scosta da quella d'equilibrio sotto l'azione delle forze che la sollecitano, congiunta all'esistenza dei tre filari superiori di cunei in pietra tagliata, i quali, efficacemente contribuendo ad impedire le deformazioni del vólto nei giunti considerati, servono anche ad impedire che le pressioni su essi operanti possano di molto allontanarsi dai loro punti di mezzo.

Per calcolare i valori Q e V delle componenti orizzontale e verticale della pressione sul giunto di chiave KC , bisogna porre nelle formole (3), (6) e (7) del numero 12

$$P = 7637^{\text{cg}}, \quad p = 1^{\text{m}}, 44,$$

$$P' = 11731, \quad p' = 2, 11,$$

$$X = 27344, \quad v = 0, 53,$$

$$X' = 69631, \quad v' = 1, 28,$$

$$Y = 80787, \quad \xi = 1, 58,$$

$$Y' = 124803, \quad \xi' = 2, 23,$$

$$d = 0^{\text{m}}, 60.$$

Essendo rispettivamente di $3^{\text{m}}, 12$ e di $1^{\text{m}}, 04$ l'ascissa e l'ordinata del punto F , di $0^{\text{m}}, 60$ la distanza \overline{FG} e di $36^\circ 52' 12''$ l'angolo di EF colla verticale si ha

$$a = 3,12 - 0,6 \times \text{sen } 36^\circ 52' 12'' = 2^{\text{m}}, 76,$$

$$b = 1,04 + 0,6 \times \text{cos } 36^\circ 52' 12'' = 1, 52.$$

Analogamente, per essere di $4^{\text{m}}, 34$ l'ascissa e di $2^{\text{m}}, 34$ l'ordinata del punto F' , di $0^{\text{m}}, 60$ la distanza $\overline{F'G'}$ e di $56^\circ 37' 59''$ l'angolo di $E'F'$ colla verticale, risulta

$$a' = 4,34 - 0,6 \times \text{sen } 56^\circ 37' 59'' = 3^{\text{m}}, 84,$$

$$b' = 2,34 + 0,6 \times \text{cos } 56^\circ 37' 59'' = 2, 67.$$

I valori di A e di A' riescono

$$A = 132480,$$

$$A' = 317864;$$

e finalmente si ottiene

$$Q = 149906^{Cg},$$

$$V = 1969.$$

Per essere positivi i valori di Q e di V, risulta che la mutua azione alla chiave fra le due parti considerate della vòlta agisce in modo analogo a quello già stato dichiarato parlando del rivestimento primitivo.

36. Azioni che hanno luogo su diversi giunti del rivestimento.
 — Calcolando le componenti orizzontali e le componenti verticali delle azioni, che hanno luogo sui diversi giunti definiti dagli angoli ϕ , già stati considerati nei numeri 33 e 34, col porre nelle formole (1) e (2) del numero 14 i valori di P contenuti nella tavola del numero 33, i valori di X, Y, X' ed Y' risultanti dai quadri del numero 34 ed i valori di Q e di V ottenuti nel precedente numero, si hanno i risultati inscritti nella seguente tavola

ANGOLI ϕ	COMPONENTI S	COMPONENTI U	COMPONENTI S'	COMPONENTI U'
0°	149906 ^{Cg}	1969 ^{Cg}	149906 ^{Cg}	— 1969 ^{Cg}
10	148137	26762	147986	24714
20	141734	51346	141062	51146
30	131751	74942	130281	76464
36 52' 12''	122562	90393		
40			115037	100187
50			95495	121788
56 37 59			80275	134565
60			71828	140450
70			44259	155310
80			13101	165803
90			— 20446	170814
100			— 55695	169735
112 47 56			— 101510	158988

I valori di S ed U sono relativi ai giunti della parte di rivestimento EKCF (*Fig* 24), ed i valori di S' ed U' si riferiscono ai giunti dell'altra parte D'KCV'.

37. **Punti d'applicazione delle pressioni state considerate nel numero precedente.** — Trovati i valori di S, U, S' ed U', si possono determinare le distanze dei punti d'applicazione delle azioni sui diversi giunti definiti dagli angoli ϕ stati considerati nei numeri 33, 34 e 36. Servono per questa determinazione le formole (1) e (2) del numero 28 quando in esse si pongano: per P, p , x ed y i loro valori iscritti nella tavola del numero 33; per X, Y, v e ξ , per X', Y', v' e ξ' i valori corrispondenti registrati nelle tavole del numero 34; per d , Q e V i loro valori stati indicati nel numero 35; e finalmente per S, U, S' ed U' i dati contenuti nella tavola del numero precedente.

Effettuando i calcoli, si trova che le distanze dei punti d'applicazione delle azioni sui diversi giunti dall'estradosso, essendo δ quelle relative ai giunti della parte di rivestimento EKCF (*Fig.* 24) e δ' quelle riferentisi ai giunti dell'altra parte D'KCV', ammettono i valori contenuti nella tavola che segue

ANGOLI ϕ	DISTANZE δ	DISTANZE δ'
9°	0 ^m ,60	0 ^m ,60
10	0, 61	0, 60
20	0, 60	0, 58
30	0, 60	0, 59
36 52' 12"	0, 60	
40		0, 59
50		0, 62
56 37 59		0, 60
60		0, 64
70		0, 69
80		0, 76
90		0, 85
100		0, 94
112 47 56		1, 07

38. Componenti normali e tangenziali delle azioni operanti sui giunti. — Colle formole del numero 29 si possono ora determinare le azioni normali e le azioni contenute nei piani di quei giunti, pei quali già furono trovati i valori di S ed U, di S' ed U'. Indicando con N e T queste azioni pei giunti della parte di rivestimento EKCF (*Fig.* 24), con N' e T' queste stesse azioni pei giunti dell'altra parte D'KCV', si giunge ai risultamenti contenuti nella seguente tavola

ANGOLI φ	COMPONENTI N	COMPONENTI T	COMPONENTI N'	COMPONENTI T'
0°	149906 ^{Cg}	1969 ^{Cg}	149906 ^{Cg}	— 1969 ^{Cg}
10	150534	632	150029	— 1359
20	150748	— 226	150048	— 185
30	151571	— 974	151059	— 1079
36 52' 12"	152285	— 1223		
40			152522	2804
50			154679	5130
56 37 59			156535	6967
60			157547	8020
70			161081	11529
80			165559	15889
90			170814	20446
100			176828	25375
112 47 56			185901	31972

39. Resistenze riferite all'unità di superficie in diversi giunti del rivestimento. — Applicando le formole del numero 30 col porre in esso i valori di δ e di δ' registrati nella tavola del numero 37, non che quelli di N e di N' inscritti nella tavola del numero precedente, ed osservando che $z = 1^m,20$, si ottengono le resistenze alla pressione ed allo strappamento, riferite all'unità di superficie, provocate lungo le linee, in cui i giunti definiti dagli angoli φ incontrano le superficie d'intradosso e d'estradosso. Tali resistenze sono indicate colle lettere K_i e K_e pei giunti della parte di rivestimento EKCF (*Fig.* 24), colle lettere K'_i e K'_e pei giunti dell'altra parte di rivestimento D'KCV', e sono esse registrate nella seguente tavola

ANGOLI ϕ	RESISTENZE K_i	RESISTENZE K_e	RESISTENZE K_i'	RESISTENZE K_e'
0°	124922 ^{Cg}	124922 ^{Cg}	124922 ^{Cg}	124922 ^{Cg}
10	131717	119173	125024	125024
20	125623	125623	112536	137544
30	126309	126309	119588	132177
36 52' 12''	126904	126904		
40			120747	133457
50			141789	116009
56 37 59			130446	130446
60			157547	105031
70			194640	73829
80			248338	27593
90			320276	— 35586
100			397863	— 103150
112 47 56			518972	— 209138

I tre valori negativi di K_e' , pei giunti cui corrispondono gli angoli ϕ di 90°, di 100° e di 112° 47' 56'', indicano che per tali giunti e dalla parte dell'estradosso trovasi provocata la resistenza allo strapamento.

Le resistenze, riferite all'unità di superficie, provocate nei piani dei giunti definiti dai valori degli angoli ϕ già assunti nei precedenti calcoli, si ottengono dividendo i valori di T e di T' contenuti nella tavola del numero precedente per le superficie dei giunti a cui questi valori si riferiscono. La tavola che segue dà i valori K di questa resistenza pei giunti della parte di rivestimento EKCF (*Fig.* 24) ed i valori di K' della stessa resistenza pei giunti dell'altra parte D'KCV'

ANGOLI φ	RESISTENZE K	RESISTENZE K'
0°	1641 ^{Cg}	— 1641 ^{Cg}
10	526	— 1133
20	— 189	— 154
30	— 812	899
36 52' 12"	— 1019	
40		2337
50		4275
56 27 59		5806
60		6683
70		9607
80		13241
90		17038
100		21146
112 47 56		26643

40. Stabilità del rivestimento rifatto nel tronco di Galleria dei Giovi, rovinato in principio dell'anno 1873. — Onde verificare qual grado di stabilità presenta il nuovo rivestimento, bisogna applicare le equazioni di stabilità (2) e (3) del numero 31 per tutti i giunti definiti dagli angoli φ stati considerati nei numeri precedenti; e, pei tre giunti più bassi, nei quali ha luogo strappamento verso l'estradosso, è anche d'uopo applicare l'equazione (1) del citato numero. Si hanno i valori di K_m' solamente nei tre giunti più bassi, ed essi sono i valori assoluti delle corrispondenti resistenze K_e' . Il valore di K_m'' , per un giunto qualunque, è il più grande dei valori positivi di K_i e di K_e oppure di K_i' e di K_e' , secondo che trattasi di giunti appartenenti alla parte di rivestimento EKCF (*Fig.* 24), oppure alla parte di rivestimento D'KCV'. Il valore di K_1 e, per ogni giunto, il valore assoluto del K o del K' ad esso corrispondente. Dalle tavole del numero precedente sarà adunque facile desumere i valori delle tre quantità K_m' , K_m'' e K_1 . In quanto poi ai coefficienti di rottura R' , R'' ed R''' , non solo si devono prendere un po' maggiori di quelli stati riportati nella tavola del numero 18, ma conviene assumerli ancora più grandi di quelli stati adottati per verificare la stabilità del rivestimento primitivo. Nella costruzione del nuovo rivestimento furono esclusivamente ado-

perati mattoni scelti a due sabbie provenienti dalle migliori fornaci del Piemonte i quali, in seguito ad esperienze state eseguite dall'illustrissimo signor Commendatore Ingegnere Mattia MASSA, non si rompono che sotto una pressione maggiore di 200 chilogrammi per centimetro quadrato. Questi mattoni furono posti in opera con malte cementizie di qualità superiore, lavorate con tutta la diligenza possibile e riconosciute tenacissime; e la muratura venne eseguita colla scrupolosa osservanza delle più minute prescrizioni dell'arte di ben costrurre. Nelle murature, che dovevano trovarsi sottoposte alle azioni delle terre dopo il loro disarmo e quindi dopo qualche tempo dalla loro costruzione, era necessario avere una certa cedevolezza alle deformazioni che in esse avrebbero provocato le spinte enormi delle terre, e quindi vennero eseguite con malte del miglior cemento a lenta presa delle officine di Palazzolo; le murature che appena costrutte dovevano opporsi alle dette azioni, vennero invece costrutte con malte del miglior cemento Portland. Segue da ciò che, senza tema di errare in danno della stabilità, si possono assumere i seguenti valori dei coefficienti di rottura, riferiti al metro quadrato

$$R' = 250000\text{Cs},$$

$$R'' = 2000000,$$

$$R''' = 250000.$$

Ricavando, colla scorta degl'indicati elementi, i valori dei coefficienti di stabilità n'' ed n''' pei giunti già considerati nella parte di rivestimento EKCF, si trova

ANGOLI φ	COEFFICIENTI n''	COEFFICIENTI n'''
0°	0,06	0,007
10	0,07	0,002
20	0,06	0,001
30	0,06	0,003
36 52' 12''	0,06	0,004

In quanto ai giunti della parte di rivestimento D'KCV' si hanno i coefficienti di stabilità n' , n'' ed n''' contenuti in quest'altra tavola

ANGOLI φ	COEFFICIENTI n'	COEFFICIENTI n''	COEFFICIENTI n'''
0°		0,06	0,007
10		0,06	0,005
20		0,07	0,001
30		0,07	0,004
40		0,07	0,009
50		0,07	0,017
56 37' 59''		0,07	0,023
60		0,08	0,027
70		0,10	0,038
80		0,12	0,053
90	0,14	0,16	0,068
100	0,41	0,20	0,085
112 47 56	0,84	0,26	0,107

I valori dei coefficienti di stabilità pei giunti relativi alla parte $EKE_8'F_8'CF$ del rivestimento accennano in essa quel grado di stabilità che generalmente si suole ammettere dai più prudenti costruttori; mentre i coefficienti di stabilità pei giunti dell'altra parte $D'E_8'F_8'V'$ indicherebbero a tutta prima, se non una mancanza di sicurezza, un'eccedenza almeno nei limiti generalmente accettati nella pratica. I coefficienti di stabilità 0,41 e 0,84, relativi allo strappamento nei due giunti infimi, potrebbero destare serie apprensioni nei meno arditi costruttori, ed i coefficienti di stabilità 0,20 e 0,26 relativi allo schiacciamento potrebbero sembrare un po' troppo azzardosi. In quanto alla resistenza allo scorrimento non c'è da preoccuparsi, giacchè il più grande dei coefficienti di stabilità che ad essa si riferiscono è ben di poco superiore alla frazione 0,1.

Se però attentamente si esaminano tutte le circostanze in cui si trova il rivestimento stato rifatto presso l'imbocco sud della Galleria dei Giovi, agevolmente si comprende come non sia punto il caso di preoccuparsi della sua stabilità; ed ecco le osservazioni che vengono in appoggio di tale asserto. Per quanto si è detto nel numero 31, la rottura della Galleria dei Giovi avvenne nel principio dell'anno 1873, prima che le terre avessero quel grado di mobilità che si è supposto nel metodo di calcolo stato applicato; le azioni di queste contro il nuovo rivestimento si possono adunque quasi sicuramente

ritenere come effettivamente meno energiche di quelle che hanno condotto ai valori dei coefficienti di stabilità contenuti nelle precedenti tavole, ed i valori di tali coefficienti siccome maggiori dei reali. Il nuovo rivestimento è fatto con materiali di qualità sceltissima, in tutto e per tutto è eseguito con tanta diligenza da potersi considerare come una costruzione delle più perfette per lavoratura e per omogeneità di materia, e quindi, anche nell'ipotesi che essa si trovi sotto le azioni risultanti dal metodo di calcolo stato seguito, si può ritenere siccome sufficiente un valore massimo dei coefficienti di stabilità che sia eguale a quello che suolsi adottare per le costruzioni metalliche, ossia che si trovi prossimo alla frazione 0,25, come è appunto il coefficiente di stabilità 0,26 relativo allo schiacciamento nel giunto più basso. Le deformazioni del nuovo rivestimento sono energeticamente contrastate dai quattro filari di pietre da taglio posti in corrispondenza dei giunti EF, KC, E'F', D'V', e quindi, siccome non vi possono essere aumenti nelle resistenze provocate senza che vi siano aumenti nelle deformazioni, ne risulta la quasi impossibilità che le resistenze riferite all'unità di superficie si facciano maggiori di quelle contenute nella tavola del numero 39.

A queste ragioni, le quali tutte militano in favore della stabilità del nuovo rivestimento della Galleria dei Giovi, un'altra ben importante conviene aggiungerne, derivante dalla presenza di un filare di tre cunei *a*, *b* e *c* di robusta pietra da taglio alla base del piedritto. Il cuneo di mezzo *a* abbraccia l'intera grossezza del rivestimento, i due cunei *b* e *c* si estendono dall'intradosso fino alla metà della detta grossezza, ed il giunto D'V' costituisce appunto il letto di posa del cuneo *a* sul cuneo *c*. Le facce in contatto dei detti tre cunei sono lavorate con tutta l'accuratezza possibile, la pietra proviene dalle cave di Borgone presso Susa, è delle più resistenti e, senza dubbio, si opera in favore della stabilità, supponendo che il suo coefficiente di rottura per pressione sia di chilogr. 4000000 per ogni metro quadrato. Ora, non tenendo conto alcuno della resistenza allo strappamento sul giunto D'V' e cercando qual è la lunghezza z_1 della parte di questo giunto che si trova premuta verso l'intradosso, nell'ipotesi che abbia luogo distacco verso l'estradosso, per quanto si è detto nel numero 16, si ha

$$z_1 = 3(z - \delta') = 0^m,39;$$

e la pressione K_1' , riferita all'unità di superficie, sullo spigolo d'intradosso risulta

$$K_1' = 953338^{\text{Cg.}}$$

Dividendo questa pressione per 4000000, ossia pel coefficiente di rottura della pietra fra cui trovasi il giunto D' V', si ottiene il coefficiente di stabilità n'' il quale è dato da

$$n'' = 0,24.$$

Nell'ipotesi adunque che si trascuri la resistenza allo strappamento sul giunto D' V', ipotesi la quale indubitatamente non può a meno che essere in favore della stabilità, la massima pressione riferita all'unità di superficie su questo giunto è appena i 0,24 di quella che corrisponde alla rottura; e quindi poco più della metà di quella relativa allo snervamento.

Conchiudendo in ordine al grado di stabilità che presenta il rivestimento, stato rifatto verso l'imbocco sud della Galleria dei Giovi, nell'ipotesi sfavorevolissima dell'assoluta mobilità del terreno ammessa nel metodo di calcolo stato adottato, si può dire: che i coefficienti di stabilità che la definiscono non sono nei giunti pericolosi, ossia in quelli che corrispondono alle basi dei piedritti, tanto piccoli, quali sono ordinariamente richiesti dalle ordinarie opere murali; che però essi sono perfettamente in armonia colle sceltissime qualità dei mattoni, delle pietre e delle malte state poste in opera, coll'accuratezza di lavoro e colla convenienza delle disposizioni state usate; che sono ben lungi dal corrispondere ad un principio di snervamento dei materiali; e che per conseguenza devesi ritenere il detto rivestimento siccome presentante le più ampie garanzie di sicurezza, sempre quando non sia per venir meno l'appoggio ad esso somministrato dal piedritto e dalla parte di volto vecchio stato conservato sul lato orientale della galleria.

Osservazioni sul metodo di calcolo stato seguito, onde riconoscere il grado di stabilità del primitivo e del nuovo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi, rovinato in principio dell'anno 1873.

41. Come si devono considerare i risultamenti dati dal metodo di calcolo stato seguito in questo capitolo. — Il metodo di calcolo stato seguito, onde riconoscere qual grado di stabilità presentava il vecchio e qual grado di stabilità presenta il nuovo rive-

stimento della Galleria dei Giovi nel tronco in cui avvenne la rottura del 9 gennaio 1873, quantunque non possa andare esente da obiezioni, sia sul veritiero modo di comportarsi delle terre, sia per la quasi arbitrarietà che esiste nella scelta dei punti d'applicazione delle pressioni su tre giunti, e sia ancora per l'ipotesi stata ammessa sulla ripartizione delle pressioni, pure si deve ritenere al presente come un utile e forse come l'unico mezzo per giungere a mettere in armonia colle enormi forze sollecitanti le forme e le dimensioni dei rivestimenti delle gallerie da aprirsi in terreni mobili e soggetti a rammollimento in presenza dell'acqua. Questo metodo poi si deve considerare siccome favorevole, anzichè dannoso alla stabilità delle costruzioni cui potrà venire applicato, e valgono a confermare questa asserzione, tanto i risultamenti dei calcoli stati fatti sul rivestimento primitivo, quanto i risultamenti di quelli stati istituiti sul rivestimento nuovo. La rottura del rivestimento primitivo, come si è fatto notare nel numero 31, avvenne prima che le terre avessero quel grado di estrema mobilità che suppone il metodo di calcolo stato proposto ed adottato; cosicchè, applicandolo a gallerie da costruirsi, si viene ad ammettere l'ipotesi che esistano le condizioni più sfavorevoli, ossia che le terre esercitino le massime azioni possibili contro i loro rivestimenti, azioni le quali forse mai saranno per realizzarsi. Non ostante i valori dei coefficienti di stabilità, un po' grandi pei giunti infimi del piedritto del nuovo rivestimento, pure in esso, dopo quasi un anno d'esecuzione, non si ravvisano apprezzabili deformazioni; questo induce a ritenere che contro il nuovo rivestimento non si verificano le enormi azioni risultanti dai calcoli stati istituiti, e porta pure alla conclusione che il metodo da cui tali calcoli derivano, applicato ad una galleria da costituirsi, conduce a favorire anzichè a danneggiare la sua stabilità. Aggiungasi ancora che l'ammessa legge della ripartizione delle pressioni sui giunti è tale da condurre a valori delle pressioni massime, riferite all'unità di superficie, maggiori delle vere; cosicchè, anche sotto questo rapporto, si ottengono risultamenti conformi alla fatta dichiarazione.

Visto come il metodo stato proposto, per determinare le dimensioni dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili, sia generalmente per favorire la stabilità, nasce spontanea la domanda se per contro non trovasi troppo pregiudicata l'economia. A questa domanda si può rispondere: che il costruttore non deve tener conto dell'eccesso di stabilità derivante da ciò che generalmente le terre non hanno quel grado di mobilità che si suppone nel proposto me-

todo, giacchè col tempo esse potrebbero raggiungerlo; che l'eccesso di stabilità derivante dall'ammessa legge di ripartizione delle pressioni costituisce un vero inconveniente, il quale però ha la sua origine nello stato delle imperfette attuali cognizioni sul modo con cui si ripartiscono le pressioni su una base estesa.

Un'altra domanda che pure si presenta spontanea e che ha relazione colla stabilità dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili, è quella che si riferisce all'altezza c da assumersi per misurare il carico del terreno mobile sul punto culminante dell'estradosso. Come risulta dalle formole del numero 10, quest'altezza ha una grande influenza sui valori delle componenti orizzontali X e delle componenti verticali Y delle azioni delle terre contro i rivestimenti, ed importa che sia determinata con accuratezza per giungere a risultamenti accettabili e conformi alla realtà. Segue da ciò che, nei casi di gallerie da aprirsi a grande profondità sotto la superficie del suolo in terreni mobili e colanti, o che presentano i caratteri di poter divenire tali, sarà utile, onde non esporsi a rischio di assumere un valore eccessivo dell'indicata altezza, di far eseguire dei pozzi o degli assaggi atti a dare un'idea delle variazioni di terreno alle diverse profondità dal suolo fino al livello che deve raggiungere la galleria. La sola altezza di terra mobile, o di materia soggetta a diventare mobile, la quale si troverà al di sopra dell'estradosso della galleria, costituisce il valore di c .

42. Osservazione sui risultati ottenuti in ordine alla forma che conviene assegnare ai piedritti presso ed alla loro base. — Dai calcoli che furono istituiti risulta ad evidenza come i punti d'applicazione delle pressioni sui giunti più bassi tendano avvicinarsi all'intradosso a misura che si discende verso la base del piedritto, e come per conseguenza la curvatura della direttrice della superficie interna di quest'ultimo, per quanto si può, deve essere grande, per impedire che i detti punti si avvicinino troppo all'intradosso o che cadano fuori dei giunti al di là dell'intradosso medesimo.

Nel primitivo rivestimento, essendo piccola la curvatura del piedritto, si è trovato che il punto d'applicazione della pressione sul giunto più basso cadeva fuori del giunto stesso al di là dell'intradosso, ed una tale disposizione ha indubitatamente avuto la sua influenza sulla rottura della galleria. Nel nuovo rivestimento, essendo questa curvatura assai maggiore, il punto d'applicazione della pressione sul più basso dei giunti considerati cade nell'interno del giunto stesso con gran vantaggio per la stabilità dell'opera.

Si deduce ancora da queste osservazioni che l'ingrossamento della base del piedritto, come risulta in $D'QR\Delta'$ (*Fig. 24*), è di non poca efficacia per la stabilità della costruzione.

43. Semplificazioni che si possono apportare ai metodi di calcolo per verificare la stabilità di una galleria in terreni mobili.

— In ordine alla fatica richiesta per verificare la stabilità di una galleria in terreni mobili e colanti col metodo di calcolo stato applicato, riesce facile vedere come essa si possa generalmente diminuire considerando il giunto di chiave e due giunti alle reni, onde dedurre la mutua azione fra le due parti di volta determinata dai detti tre giunti, e limitando le altre ricerche al giunto infimo dei piedritti, il quale, come risulta dai calcoli stati eseguiti in questo lavoro, è generalmente quello in cui c'è maggior pericolo di rottura.

Un'altra notevolissima semplificazione si ottiene col sostituire al metodo numerico un metodo grafico, analogo a quello che si adotta per verificare la stabilità delle arcate dei ponti di struttura murale, e che, quando sappiasi trar partito di alcune regole di statica grafica, riesce, elegante non solo, ma spedito, di assai facile applicazione e sufficientemente approssimato per la pratica.

CAPITOLO IV.

Metodo grafico per verificare la stabilità dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili.

44. Pressioni delle terre su piccole parti della superficie esterna del rivestimento di una galleria. — Siano (*Fig. 27*) ACA' e BKB' le curve direttrici delle due superficie interna ed esterna del rivestimento di una galleria, alla quale insiste un terreno mobile, e sia LOL' il profilo della superficie superiore del detto terreno. Se consideransi sulla curva ACA' due punti n_1 ed n_2 così poco distanti da poter sostituire all'arco n_1n_2 , la sua corda, e viceversa; e se osservasi che, per essere il terreno di natura mobile, la linea LL' è orizzontale o quasi orizzontale; la pressione, sulla parte di superficie esterna del rivestimento lunga l'unità e proiettata nell'arco n_1n_2 , si può ritenere siccome eguale a quella risultante

dall'azione di un liquido della stessa densità delle terre e premente sulla faccia piana determinata dalla corda dell'arco suddetto.

Se adunque si divide per metà l'arco n_1n_2 in n , e se elevasi per n la verticale nq , si può ammettere: che il valore della pressione G è dato da

$$G = \Pi \times \overline{n_1n_2} \times \overline{nq};$$

che questa pressione è applicata nel punto m in cui la verticale condotta pel centro di gravità g della figura $n_1q_1q_2n_2$ incontra l'arco n_1n_2 ; che la stessa pressione è diretta normalmente all'arco indicato, e che quindi passa pel suo centro quando esso è circolare.

Nelle risoluzioni di problemi pratici si può ritenere di poter sostituire la corda all'arco e viceversa quando la saetta degli archi che si considerano non è maggiore di $\frac{1}{15}$ della corda. Di più, se la differenza di livello fra i due punti n_1 ed n_2 è piccola in confronto della profondità \overline{OC} della galleria sotto la superficie del terreno, la verticale mp si trova assai prossima alla verticale nq ; di maniera che sovente, con bastante approssimazione per la pratica, si può prendere il punto di mezzo n dell'arco n_1n_2 , siccome quello a cui è applicata la pressione della terra, e così far senza la determinazione del centro di superficie della figura quadrilatera $n_1q_1q_2n_2$.

Nell'applicare la formola determinatrice di N , le lunghezze $\overline{n_1n_2}$ ed \overline{nq} possono essere desunte dal disegno rappresentante in una determinata scala il profilo della superficie superiore del terreno e della superficie esterna del rivestimento.

45. Pressioni delle terre su date parti della superficie esterna del rivestimento di una galleria. — Consideriamo, per fissare le idee, una galleria, la quale ammette per direttrice della superficie esterna del suo rivestimento la semi-circonferenza NCN' col centro in O (*Fig.* 28), alla quale sono raccordati i due archi di circolo NV ed $N'V'$, il primo col centro in O' ed il secondo col centro in O'' , e proponiamoci di trovare le pressioni sulle parti di rivestimento CF_6 , CN' , $N'V'$ e CV' .

Per trovare la pressione sulla parte CF_6 della superficie esterna del rivestimento, si incomincia col dividere l'arco CF_6 in parti CF_1 , F_1F_2 , F_2F_3 , F_3F_4 , F_4F_5 ed F_5F_6 talmente piccole che a ciascuna di esse si possa sostituire la corda. Fatto questo, operando come si è detto nel numero precedente, per trovare la pressione G sopra la

superficie, lunga l'unità, rappresentata nell'arco piccolo $n_1 n_2$ (*Fig. 27*) si determinano in intensità, direzione e punto d'applicazione le pressioni G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 e G_6 , sulle parti della superficie esterna del rivestimento della galleria rappresentate in $CF_1, F_1F_2, F_2F_3, F_3F_4, F_4F_5$ ed F_5F_6 . Queste pressioni, perchè normali all'arco CN , passano tutte pel centro O dell'arco stesso, e quindi, costruendo il poligono delle forze coll'origine in O e coi lati 1, 2, 3, 4, 5 e 6 equipollenti alle pressioni suddette, si ottiene nel lato \overline{OH} l'intensità, la direzione e la posizione della totale pressione M sulla parte di rivestimento lunga l'unità rappresentata nell'arco CF_6 . Il verso della forza M è da O in H , perchè contrario a quello del lato \overline{HO} considerato siccome quella forza che, applicata ad un punto assieme alle forze G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 e G_6 , pone il sistema in equilibrio.

Un analogo procedimento serve per trovare la pressione M' sulla parte CN' della superficie esterna del rivestimento. Costruendo il poligono delle forze $1' 2' 3' 4' 5' 6' 7' 8' 9'$ coi lati equipollenti alle pressioni $G_1', G_2', G_3', G_4', G_5', G_6', G_7', G_8'$ e G_9' , determinate come si è detto nel numero precedente, si ottiene in $\overline{OH'}$ l'intensità, la direzione, il verso e la posizione della totale pressione M' .

Nè riesce più difficile trovare la pressione sulla parte $N'V'$ della superficie esterna del rivestimento in corrispondenza di un piedritto. Si determinano prima, sempre colle norme state indicate nel precedente numero, le pressioni G_1'', G_2'' e G_3'' sulle parti piccole $N'F_1'', F_1'F_2''$ ed $F_2''V'$ della superficie suddetta. Assumendo come origine il centro O'' dell'arco circolare $N'V'$, giacchè queste pressioni passano tutte per questo punto, si costruisce il poligono delle forze $1'' 2'' 3''$, ed il lato $\overline{O''H''}$ che chiude questo poligono rappresenta in intensità, verso e posizione la pressione M'' sulla parte $N'V'$ della superficie esterna del rivestimento.

Qualora poi vogliasi la pressione contro la parte di rivestimento, la cui superficie esterna è $CN'V'$, riesce facile ottenerla componendo le due forze M' ed M'' mediante il parallelogramma $IQH'''L$ costruito, portando, a partire dal punto I , in cui s'incontrano le direzioni delle forze stesse, le loro intensità \overline{IL} ed \overline{IQ} . La diagonale $\overline{IH'''}$ di questo parallelogramma dà in intensità, verso e posizione la voluta pressione M_r .

Che se la direttrice dell'a superficie esterna del rivestimento della galleria fosse una curva policentrica composta di molti archi circolari (*Fig. 29*) $CD, DD', D'D'', D''D'''$ e $D'''D^v$ raccordati fra loro nei punti D, D', D'', D''' ed aventi rispettivamente i loro

centri in O , O' , O'' , O''' ed O^{iv} , ecco come si può trovare la totale pressione M_r che su una tale superficie si verifica. Considerando separatamente gli archi circolari CD , DD' , $D'D''$, $D''D'''$ e $D'''D^{iv}$, si ottengono (operando come si è fatto per trovare i valori di M , di M' e di M'' nel caso della figura 28) le pressioni M_1 , M_2 , M_3 , M_4 ed M_5 . Trovate queste pressioni, non si deve far altro che comborle assieme, e quest'operazione può essere eseguita in due modi. Il primo modo consiste nel trovare la risultante M_2' delle due forze M_1 ed M_2 , poi la risultante M_3' delle due forze M_2' ed M_3 ; quindi la risultante M_4' delle due forze M_3' ed M_4 , e finalmente la risultante M_5' delle due forze M_4' ed M_5 . Il secondo modo consiste nella costruzione del poligono delle forze e del poligono funicolare pel sistema costituito dalle forze M_1 , M_2 , M_3 , M_4 ed M_5 , e nel trarre partito delle proprietà di questi due poligoni, state dimostrate nel secondo volume dell'*Appendice all'Arte di fabbricare* (nella nota (h) alle pagine 317, 318 e 319), per trovare in intensità, verso e posizione la risultante delle forze stesse.

L'applicazione del secondo metodo per la determinazione della risultante M_r delle forze M_1 , M_2 , M_3 , M_4 ed M_5 consiste: nell'assumere un punto A per origine del poligono delle forze; nel costruire la linea poligonale da A in B coi lati equipollenti alle forze M_1 , M_2 , M_3 , M_4 ed M_5 ; nel tirare la retta BA la quale rappresenta in intensità e direzione la risultante delle dette forze. Il verso di questa risultante è da A in B , perchè opposto a quello del lato BA considerato come quella forza che, applicata ad un punto assieme alle forze M_1 , M_2 , M_3 , M_4 ed M_5 , pone il sistema in equilibrio.

Per trovare poi la posizione di questa risultante si prende un punto qualunque P come polo e si tirano i raggi che vanno ai vertici del poligono delle forze. Tirando successivamente fra M_1 ed M_2 , fra M_2 ed M_3 , fra M_3 ed M_4 , fra M_4 ed M_5 le rette II , $IIII$, $IIIV$ e IVV rispettivamente parallele ai raggi che vanno ai vertici del poligono delle forze a cui sono adiacenti i lati rappresentanti le forze M_1 ed M_2 , M_2 ed M_3 , M_3 ed M_4 , M_4 ed M_5 , conducendo poi i punti V ed I due rette rispettivamente parallele ai raggi PB e PA , determinando il punto d'intersezione VI di queste due rette e tirando per questo punto una parallela a BA , si ottiene la posizione della risultante M_r delle forze M_1 , M_2 , M_3 , M_4 ed M_5 .

Volendosi in intensità, verso e posizione le risultanti delle due forze R_1 ed R_2 , delle tre forze M_1 , M_2 ed M_3 e delle quattro forze M_1 , M_2 , M_3 ed M_4 , riesce facilissimo ottenerle. Queste risultanti

sono rispettivamente rappresentate nel poligono delle forze dalle rette $\overline{A2}$, $\overline{A3}$ ed $\overline{A4}$; il loro verso è da A ai punti 2, 3 e 4: e di più devono esse passare pei punti (III), (IV) e (V) in cui le rette III II, IV III e V IV incontrano la retta I VI.

Il metodo or ora stato indicato per determinare, mediante i due poligoni delle forze e funicolare, l'intensità, il verso e la posizione della risultante M_r , si può anche applicare al caso in cui la direttrice della superficie esterna del rivestimento non è una curva policentrica, ma una curva qualunque, diversa dalla circolare. In questo caso si divide la curva in archi talmente piccoli da potervi sostituire le corde, si cercano le pressioni G_1, G_2, G_3, \dots su queste parti, e con queste forze si fanno le costruzioni che nella figura 29 furono eseguite colle forze M_1, M_2, M_3, M_4 ed M_5 .

46. **Pesi di piccole porzioni del rivestimento di una galleria.** — Immaginando pei punti vicini n_1 ed n_2 (*Fig. 27*) della direttrice della superficie esterna del rivestimento di una galleria le normali n_1s_1 ed n_2s_2 alla curva BKB' direttrice della superficie interna del rivestimento medesimo, rimane definita la piccola area $n_1n_2s_2s_1$, la quale, nei casi frequentissimi in cui gli archi n_1n_2 ed s_1s_2 sono circolari e concentrici, è una porzione di corona circolare. Segue da ciò che moltiplicando per la lunghezza n_1s_1 quella dell'arco t_1t_2 il quale divide per metà i due giunti n_1s_1 ed n_2s_2 od anche la lunghezza della sua corda, giacchè siamo nel caso in cui all'arco si può sostituire la corda e viceversa, si ottiene l'area della figura $n_1n_2s_2s_1$. Quest'area moltiplicata per il peso Π_1 del metro cubo di muratura, dà nel prodotto il peso H della piccola parte di rivestimento lunga l'unità e rappresentata nella figura suddetta; cosicchè la formola determinatrice di H risulta

$$H = \Pi_1 \times \overline{t_1t_2} \times \overline{n_1s_1}.$$

Comunque siano poi gli archi n_1n_2 ed s_1s_2 , si può sempre ottenere con sufficiente approssimazione per la pratica l'area della figura $n_1n_2s_2s_1$ considerandola come un quadrilatero e scomponendola in due triangoli.

Oltre il peso H di una piccola parte del rivestimento compresa fra due giunti vicini, occorre di trovare il suo punto d'applicazione, e, con sufficiente approssimazione per la pratica, si può ritenere che

questo punto coincida col centro di superficie della figura $n_1 n_2 s_2 s_1$ considerata come un quadrilatero (a).

47. **Pesi di date parti del rivestimento di una galleria.** — Supponiamo che trattisi della porzione del rivestimento di una galleria lunga l'unità rappresentata nelle figure 31 in $CKE_6 F_6$, e che vogliasi trovare non solo il suo peso, ma ben anche la verticale su cui quest'ultimo si trova.

Scomposta la figura $CKE_6 F_6$ in parti piccole $CKE_4 F_1$, $F_4 E_1 E_2 F_2$, $F_2 E_2 E_3 F_3$, $F_3 E_3 E_4 F_4$, $F_4 E_4 E_5 F_5$ ed $F_5 E_5 E_6 F_6$ mediante rette normali alla curva KD , colle norme state indicate nel precedente numero si trovino i pesi H_1 , H_2 , H_3 , H_4 , H_5 ed H_6 delle parti stesse, ed i loro punti d'applicazione g_1 , g_2 , g_3 , g_4 , g_5 e g_6 .

Fatto questo si costruisca il poligono delle forze date dai pesi or ora indicati; questo poligono si ridurrà alla retta AB rappresentante la somma $H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6$; e quindi la \overline{AB} , col verso da A in B , rappresenterà il peso P della parte di rivestimento $CKE_6 F_6$.

Se ora si prende un punto P come polo e si tirano i raggi ai punti di separazione 1, 2, 3, 4 e 5 fra le forze state portate su AB , se fra le verticali dei pesi H_1 ed H_2 , H_2 ed H_3 , H_3 ed H_4 , H_4 ed H_5 , H_5 ed H_6 si conducono l'una dopo l'altra le rette $I II$, $II III$, $III IV$, $IV V$ e $V VI$ rispettivamente parallele ai raggi che vanno ai punti di separazione delle forze portate sulla retta AB , e finalmente se pei punti VI ed I si tracciano le rette $VI VII$ ed $I VII$ parallele a PB ed a PA , si ottiene nella loro intersezione VII quel punto che serve a determinare la verticale secondo cui opera il peso P .

(a) Per trovare il centro di superficie di una figura quadrilatera $n_1 s_1 s_2 n_2$ (Fig. 30) si procede come segue: si tira una delle due diagonali, per esempio $s_1 n_2$; si divide questa diagonale per metà in m ; si conducono le due rette $n_1 m$ ed $s_2 m$; si determinano su queste rette i due punti o ed o' in modo da essere $\overline{mo} = \frac{1}{3} \overline{m n_1}$ ed $\overline{m o'} = \frac{1}{3} \overline{m s_2}$; si traccia la retta $o o'$ che intersecherà la diagonale $s_1 n_2$ in p ; si prende $\overline{og} = \overline{o'p}$; e si ottiene così il punto g che è il centro domandato.

Invece di condurre nel quadrilatero $n_1 n_2 s_2 s_1$ le due rette $n_1 m$ ed $s_2 m$ al mezzo della diagonale $s_1 n_2$, si possono anche tirare le due mediane $s_1 q$ ed $n_2 r$; giacchè risultano allora i punti o ed o' col prendere $\overline{q o} = \frac{1}{3} \overline{q s_1}$ ed $\overline{r o'} = \frac{1}{3} \overline{r n_2}$.

Egli è evidente che, volendosi un punto per ciascuna delle verticali su cui cadono i pesi delle parti CKE_2F_2 , CKE_3F_3 , CKE_4F_4 e CKE_5F_5 del rivestimento, basta trovare le intersezioni (III), (IV), (V) e (VI) delle rette III II, IV III, V IV e VI V colla I VII.

48. **Determinazione della mutua azione fra due parti del rivestimento di una galleria in terreni mobili.** — Le due parti di rivestimento che intendiamo considerare siano GHFE e GHF'E' (*Fig.* 32). E supponiamo che i punti d'applicazione delle pressioni sui tre giunti EF, GH ed E'F' siano rispettivamente L, I ed L'.

Essendo:

M ed M' le pressioni che le terre esercitano sulle superficie, lunghe l'unità, rappresentate in HF ed H'F',

m ed m' le lunghezze delle perpendicolari \overline{Lm} ed $\overline{L'm'}$ abbassate dai punti L ed L' sulle direzioni delle dette pressioni,

P e P' i pesi delle due parti di rivestimento, lunghe l'unità, rappresentate in GHFE e GHF'E',

p e p' le lunghezze delle due perpendicolari \overline{Lp} ed $\overline{L'p'}$ abbassate dai punti L ed L' sulle direzioni dei pesi ora indicati,

Γ la mutua azione che ha luogo in I fra le due parti considerate del rivestimento,

γ e γ' le lunghezze delle due rette \overline{La} ed $\overline{L'a'}$ abbassate dai punti L ed L' perpendicolarmente alla direzione della forza Γ ,
l'equazione dei momenti attorno alla retta proiettata in L, per le forze sollecitanti la parte di rivestimento GHFE, dà

$$\Gamma\gamma = Mm + Pp \quad (1),$$

e l'equazione dei momenti attorno alla retta proiettata in L', per le forze sollecitanti la parte di rivestimento GHF'E', risulta

$$\Gamma\gamma' = M'm' + P'p' \quad (2).$$

Dividendo membro a membro queste due equazioni, si ricava

$$\frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{Mm + Pp}{M'm' + P'p'} \quad (3).$$

Se ora si unisce il punto L' col punto L, se si suppone prolungata la retta L'L fino ad incontrare in O la direzione OI della

mutua azione Γ fra le due parti di rivestimento GHFE e GHF'E' , se tracciasi la retta $\overline{\text{L'I}}$ e se immaginasi condotta per L la retta LK parallela ad L'I , risultano i due triangoli simili OL'I ed OLK , dai quali si ha

$$\frac{\overline{\text{L'I}}}{\overline{\text{LK}}} = \frac{\overline{\text{OL'}}}{\overline{\text{OL}}}.$$

Ma anche i due triangoli OL'a' ed OLa sono simili e danno

$$\frac{\overline{\text{L'a'}}}{\overline{\text{La}}} = \frac{\overline{\text{OL'}}}{\overline{\text{OL}}};$$

cosicchè, per essere eguali i secondi membri di queste due equazioni e per essere $\overline{\text{La}} = \gamma$ ed $\overline{\text{L'a'}} = \gamma'$, risulta

$$\overline{\text{LK}} = \frac{\gamma}{\gamma'} \overline{\text{L'I}} \quad (4).$$

Se ora dall'equazione (3) ricavasi il rapporto $\frac{\gamma}{\gamma'}$ e se si pone nell'equazione (4) unitamente al valore della lunghezza $\overline{\text{L'I}}$, si ottiene quella lunghezza $\overline{\text{LK}}$, la quale, portata parallelamente ad L'I da L in K , dà quel punto che, unito con I , somministra la direzione della forza Γ . Il verso positivo di questa forza è da I verso O quando si considera essa siccome operante sulla parte di rivestimento GHFE , ed affatto opposto, ossia da I verso a' quando si considera come operante sulla parte GHF'E' . L'intensità della forza Γ si può dedurre da una delle due equazioni (1) e (2).

Non occorre dire che, nel fare i calcoli per la determinazione che forma l'oggetto di questo numero, si possono dedurre dal disegno le lunghezze m , m' , p , p' ed $\overline{\text{L'I}}$.

49. Determinazione delle azioni su giunti qualunque del rivestimento. — Determinata in intensità e direzione la mutua azione Γ su un giunto GH (*Fig.* 32) del rivestimento, riesce facile trovare lo stesso elemento per giunti qualunque a dritta ed a sinistra di quello or ora indicato, e posti quindi nelle condizioni dei due giunti EF ed E'F' .

Supponendo, per fissare le idee, che vogliasi trovare l'azione sul giunto ef (*Fig. 33*), saranno quantità date la pressione M che le terre esercitano contro la parte Hf della superficie esterna del rivestimento, il peso P della parte di rivestimento $GHfe$ e la forza Γ operante sul giunto GH . Componendo la forza Γ colla forza P mediante la costruzione del parallelogramma $ABCD$ (fatto col portare sulle forze stesse, a partire dal loro punto d'incontro A , le lunghezze \overline{AD} ed \overline{AB} rispettivamente eguali a Γ e P), si ha nella retta AC l'intensità e la direzione della loro risultante. Componendo dopo questa risultante colla forza M mediante la costruzione del parallelogramma $EFKL$ (determinato col prendere sulle direzioni delle due forze or ora indicate, a partire dal loro incontro E , le lunghezze \overline{EL} ed \overline{EF} rispettivamente eguali ad AC ed M), si ottiene nella retta \overline{EK} l'intensità e la direzione della risultante R delle tre forze Γ , P ed M . Questa forza R incontra il giunto ef nel punto l , il quale rappresenta il punto d'applicazione dell'azione R sul giunto stesso.

Tenendo un metodo in tutto identico a quello stato seguito per trovare l'azione R sul giunto ef , si può ottener l'azione R' sul giunto $e'f'$. Invece però di due successive composizioni di forze si può trar partito, nella ricerca delle forze R ed R' , della relazione che esiste fra il poligono delle forze ed il poligono funicolare, operando come passiamo ad indicare per la determinazione della forza R' . Si assume un punto A per origine del poligono delle forze: si costruisce la linea poligonale da A in B coi suoi tre lati equipollenti alle forze Γ , P' , M' ; e si tira la retta AB la quale rappresenta in intensità e direzione la risultante delle dette tre forze quando si consideri siccome operante da A verso B . Per ottenere la posizione dell'indicata risultante, si prende un punto P come polo e si conducono i raggi che vanno ai vertici del poligono delle forze. Tirando fra le direzioni delle forze Γ e P' la retta III , e fra le direzioni delle forze P' ed M' la retta $IIIII$, rispettivamente parallele ai raggi $P1$ e $P2$, e quindi conducendo pel punto I una retta parallela al raggio PA e pel punto III una retta parallela al raggio PB , si determina il punto IV pel quale deve passare la risultante R' delle tre forze Γ , P' ed M' . Conducendo adunque pel punto IV la retta $IV'V'$ parallela ad AB , si trova in V' il punto in cui l'azione R' sul giunto $e'f'$ incontra il giunto stesso.

50. Componenti tangenziale e normale dell'azione su un giunto qualunque. — Determinata l'azione R su un giunto qualunque ef

(Fig. 33), riesce facile trovare le due componenti T ed N dell'azione stessa, la prima contenuta e l'altra perpendicolare al piano del giunto. Perciò non si deve far altro che scomporre la forza R secondo le due direzioni Et ed En , la prima parallela e l'altra perpendicolare ad ef . Conducendo per K la retta KO parallela ad ef , fino ad incontrare la En in O , si ha: in \overline{EO} la lunghezza rappresentante la forza N ed in \overline{OK} la lunghezza rappresentante la forza T. Se il punto K si trova sotto la perpendicolare En al giunto ef , la forza T è diretta verso l'interno, e, se il punto K è sopra En , la forza T è diretta verso l'esterno della galleria.

51. **Impiego dei risultati delle costruzioni grafiche per verificare la stabilità dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili.** — I punti d'applicazione delle azioni sui differenti giunti e le componenti N e T delle azioni sui giunti stessi sono elementi necessari per la verifica della stabilità dei rivestimenti delle gallerie; e quindi le costruzioni grafiche state esposte in questo capitolo servono per surrogare le determinazioni numeriche a cui si riferisce il contenuto nel capitolo II dal numero 9 al numero 15. Il resto dell'operazione per la verifica della stabilità si fa colle precise norme che sono tracciate nei numeri 16, 17 e 18, e che già si sono applicate nei numeri 30, 31, 39 e 40.

SULLA
COSTRUZIONE DELLE GALLERIE
IN TERRENI MOBILI

1. **Assunto di questo lavoro.** — Fra le costruzioni che presentano maggiori difficoltà di esecuzione, che esigono spese ingenti e che non si possono condurre a termine senza una direzione attiva, coraggiosa e perspicace, convien annoverare le gallerie in terreni di natura mobile, quali sono alcune argille ed alcune sabbie in presenza dell'acqua.

La lotta, che l'ingegneria italiana ha dovuto sopportare contro gli ostacoli che questi terreni oppongono alla perforazione, incominciò dall'epoca della costruzione della prima ferrovia del Piemonte, ossia nei lavori della linea Torino-Alessandria-Genova, alla Galleria dei Giovi ed in altri punti della traversata degli Appennini; continuò senza tregua nella costruzione delle molte ed importanti altre linee ferroviarie che in seguito furono aperte in ogni parte della nostra penisola, e tuttora continua pei lavori che si stanno eseguendo nell'Italia meridionale e nella Sicilia. Nell'aprimiento di alcune gallerie della linea Bologna-Porretta-Firenze, della linea dell'Adriatico, delle ferrovie litorali liguri, delle ferrovie Cavallermaggiore-Alessandria, Castagnole-Asti-Mortara e Bra-Savona, si presentarono serie difficoltà per l'incontro di terreni mobili; ma fu nella traversata dell'Appennino, sulla linea Foggia-Benevento-Napoli, che il problema si presentò in tutta la sua formidabilità, e segnatamente nell'esecuzione

delle tre importanti gallerie d'Ariano, Starza e Cristina, state lodevolmente condotte a termine, dopo una lunga serie di ostacoli gravissimi e di contrarietà inattese, sotto la valida ed intelligente direzione del distinto Ingegnere G. Lanino.

Non si avevano pel passato metodi sicuri e ben definiti per la costruzione delle gallerie in terreni mobili; ma presentemente, grazie alla buona volontà ed alle cognizioni di alcuni ingegneri, i quali, trovandosi preposti alla direzione di siffatti lavori, ebbero la felice idea di pensare al progresso della scienza coll'accertarsi della natura dei terreni nei quali facevano eseguire i loro progetti, coll'esplorare in qual modo questi terreni si comportavano a misura del progresso delle opere, coll'indagare quali fenomeni si manifestavano nelle escavazioni, nelle armature e nei rivestimenti, col provare diversi metodi di esecuzione, onde poter stabilire quale fosse quello da preferirsi in ogni caso particolare, e col far conoscere i dati raccolti ed i risultamenti ottenuti, si può dire che si hanno norme determinate per la risoluzione dell'arduo problema; che più non è il caso di procedere per tentativi nella scelta del metodo d'escavazione; e che con sufficiente approssimazione per la pratica si conoscono le condizioni meccaniche a cui devono soddisfare i rivestimenti di gallerie in terreni mobili nella loro forma, nelle loro dimensioni e nelle disposizioni dei materiali.

La relazione del prelodato signor Ingegnere Lanino sulle gallerie della traversata dell'Appennino fra Foggia e Napoli, stata pubblicata nel giornale del Genio civile negli anni 1872, 1873, 1874 e 1875, ed in seguito stata raccolta in un sol interessante opuscolo; alcuni rapporti dei signori ingegneri Protche e Siben, il primo già direttore delle costruzioni della ferrovia Bologna-Porretta-Firenze, ed il secondo delle costruzioni delle ferrovie del litorale ligure; le informazioni di cui ci furono cortesi parecchi ingegneri che impiegarono l'opera loro nell'escavazione di gallerie in condizioni di terreno assai difficili; alcuni dati che abbiamo potuto raccogliere nelle numerose visite fatte ad opere di tal genere, in occasione delle esercitazioni pratiche di costruzioni per gli allievi della R^a Scuola d'applicazione degli Ingegneri di Torino, e finalmente gli studi fatti sulla rottura e sui lavori di riparazione della Galleria dei Giovi, ci permettono di riassumere le norme fondamentali ed i precetti che devono servire di guida nella condotta dei lavori per gallerie in terreni mobili, e questo appunto ci proponiamo di fare col presente lavoro diviso in tre capitoli. Nel primo capitolo tratteremo dei caratteri dei terreni mo-

bili e dei fenomeni che essi presentano allorchando si cerca di perforarli; nel secondo capitolo stabiliremo quali sono le forme e le dimensioni più convenienti da assegnarsi ai rivestimenti delle gallerie da aprirsi in questi terreni; nel terzo capitolo daremo i metodi per la condotta e pel compimento dei lavori.

CAPITOLO I

Caratteri e fenomeni presentati dai terreni mobili.

2. **Indicazione dei terreni mobili.** — I costruttori chiamano generalmente *terreni mobili* quelli costituiti dalle argille, cui il Bianconi applicò il qualificativo di *scagliose*, e quelli sabbiosi attraversati da acque.

Le argille scagliose sono rocce rimaneggiate da azioni meccaniche e chimiche, le quali in grado più o meno pronunciato alterarono i caratteri della roccia originaria; e, prendendo come tipo primitivo di struttura lo schietto argilloso, s'incontrano nel terreno delle argille scagliose graduali modificazioni della struttura stessa fino allo stato di massa pastosa, umida, plastica e quasi soggetta a colare come i liquidi. Grosse zolle o scaglie di forma lenticolare, separate da superficie concordi, lucide, levigate ed untuose, facili a distaccarsi e presentantisi come il risultato delle modificazioni della struttura elementare, costituiscono generalmente l'insieme di questi terreni.

Si può ritenere che il peso dalle argille scagliose varia da 2100 a 2200 chilogrammi per metro cubo, che il loro colore non è costantemente lo stesso, che per lo più è oscuro, ora rosso-ocraceo, ora azzurro-verdognolo, e che esse sono pochissimo effervescenti cogli acidi e quasi nulla eccitanti alla lingua. Sovente questi terreni contengono interposti piccoli strati di sostanze bianche, aventi i caratteri delle steatiti; talvolta sono alternati con calcare in stratificazione regolare, tal'altra invece, e questo più di frequente, il calcare è sparso nella massa argillosa allo stato di frammenti discontinui. La mobilità delle argille scagliose è tanto più grande quanto più è pronunciato e manifesto il metamorfismo subito dal terreno primitivo.

Le sabbie costituenti terreni mobili, dette anche *sabbie bollenti*, sono quelle che, per essere attraversate da acque, si spostano e scoscedono appena in esse si apre uno scavo. Queste sabbie s'incontrano sopra strati impermeabili nei siti in cui si trovano lame di abbondanti acque sotterranee, e la loro mobilità riesce tanto più grande quanto più le sabbie sono fine, e quanto maggiore è la pressione, sotto la quale l'acqua sgorga dalle pareti degli scavi.

3. Principali varietà di argille scagliose. — Grandissimo è il numero delle varietà che i terreni delle argille scagliose presentano in ordine al metamorfismo da esse subito. Nella pratica delle costruzioni però conviene ridurle a quelle principali che corrispondono a variazioni possibili nei metodi d'escavazione, e ci atterremo alle tre state adottate dal distinto signor ingegnere Lanino.

La prima varietà è quella dell'argilla scagliosa alternata con calcare ancora in stratificazione regolare, sulla quale le azioni rimaneggianti poco influirono. La seconda varietà è data da quell'argilla nella quale avvennero sconvolgimenti atti a ridurre in frammenti gli strati dell'interposto calcare, ma non tanto energici da alterare di molto la primitiva struttura e da ridurre l'argilla allo stato umido e plastico. Finalmente la terza varietà è quella dell'argilla più o meno umida, in cui il rimaneggiamento fu così potente da farle acquistare uno stato di pastosità e di plasticità più o meno pronunciato. L'angolo di naturale declivio di questo terreno è assai piccolo e la tangente trigonometrica di quest'angolo si può ritenere di $\frac{1}{20}$ o poco più.

Le difficoltà alla perforazione sono di poca, di mediocre e di grande importanza, secondo che trattasi della prima, della seconda e della terza varietà di argille.

4. Fenomeni che si presentano nella perforazione delle argille scagliose e principalmente in quelle della terza varietà. — Praticando in queste argille escavazioni come sono quelle per l'aprimiento di gallerie, generalmente si verificano i seguenti fenomeni:

1° Lo sterro si può fare assai facilmente;

2° Occorrono armature e puntellamenti per assicurarsi contro gli avvallamenti e gli scoscendimenti immediati;

3° Passati, or più or meno, e generalmente tre o quattro giorni dopo l'apertura dello scavo, il terreno comincia a muoversi, a scomporre, a deformare ed anche a rompere le armature;

4° La sezione dell'escavazione va progressivamente restringen-

dosi per abbassamento del suo cielo innanzi tutto, per avvicinamento delle pareti laterali ed in piccola parte anche per sollevamento del fondo; la stessa fronte d'attacco dello scavo avanza in modo da produrre un accorciamento nell'escavazione già fatta;

5° Il terreno esercita pressioni straordinarie contro le armature e contro i rivestimenti che si oppongono alla chiusura dello scavo;

6° Sovente il movimento di restringimento continua fino alla rottura e disfacimento delle armature e dei rivestimenti, ed alla otturazione completa dell'escavazione;

7° In uno stesso terreno i maggiori movimenti e le maggiori tendenze alla chiusura dell'escavazione hanno preferibilmente luogo nei siti d'incontro degli attacchi, nelle crociere di giunzione delle escavazioni trasversali coll'escavazione longitudinale, e generalmente dove si fanno gli scavi di maggiori dimensioni orizzontali.

Nell'esterno poi e sopra la superficie del terreno, nel quale l'escavazione viene praticata, generalmente si riscontrano i seguenti fenomeni:

1° La colonna di terra sovrastante all'escavazione si abbassa, per modo che, rilevando i due profili del terreno nel piano dell'asse di una galleria prima e dopo la sua esecuzione, si trova che questo è generalmente al di sotto di quello;

2° Le depressioni della superficie superiore del terreno, a motivo di una perforazione in esso eseguita, non stanno fra i due piani verticali limiti dell'escavazione sotterranea, ma si protendono a distanze considerevoli dai piani stessi;

3° Verificandosi otturazione completa di una parte dell'escavazione sotterranea, si forma al di sopra di essa un imbuto di avallamento di grande diametro, e sovente alcuni crepacci, posti a grande distanza dal piano verticale passante per l'asse dell'escavazione, annunziano come il movimento del terreno siasi propagato a grandi distanze.

Gli indicati fenomeni, sempre imponenti per intensità ed estensione, si riproducessero in modo più o meno pronunciato in quasi tutte le gallerie state aperte nelle argille scagliose della terza varietà, e si può quindi concludere: che le loro cause dipendono dalle condizioni meccaniche del terreno, anzichè dal solo suo gonfiarsi per influenza degli agenti atmosferici; che le azioni metamorfiche, avendo distrutta tutta la rigidità che aveva la stratificazione nel suo insieme, hanno condotto a masse in cui la coesione è debolissima e le quali non

possono equilibrarsi che sotto un angolo di natural declivio assai piccolo; che queste masse sono, o sono prossime ad essere, nelle condizioni di liquidi viscosi, e che, perturbate dalla perforazione, non possono a meno di mettersi in movimento anche per grandi altezze a considerevoli distanze, e producendo pressioni enormi.

5. Frane alla superficie delle argille scagliose. — La sicurezza di una galleria nelle argille scagliose non solo esige che il suo rivestimento sia in condizioni da resistere alle enormi pressioni che contro di esso esercita il terreno; ma che sia anche posto al sicuro dai movimenti laterali del terreno stesso a motivo delle frane superficiali. Nelle sinuosità delle coste l'argilla, stemperandosi per le infiltrazioni d'acqua, tende a scorrere in basso, finchè il suo profilo superficiale siasi modificato in modo confacente alle nuove condizioni d'equilibrio; ed i torrenti, corrodendo ai piedi dei colli, promuovono questi movimenti e ne aumentano l'estensione. Una galleria che si trovasse in tale posizione da poter partecipare ai detti movimenti una parte del terreno che la circonda, sarebbe evidentemente in condizioni di sicurezza assai sfavorevoli, e quindi evidente riesce la necessità di addentrare le gallerie nei colli argillosi in modo da essere lontane dai movimenti possibili delle frane, o almeno di premunirsi che queste frane si mantengano entro determinati limiti di estensione e di profondità mediante opportune opere di consolidamento e di difesa dalle corrosioni.

6. Fenomeni che si presentano nella perforazione delle gallerie entro sabbie bollenti. — Cercando di perforare uno strato di sabbia attraversato da un'abbondante lama d'acqua, si verificano generalmente questi fatti:

1° Lo sterro si può fare assai facilmente;

2° Le acque, sgorgando dalle pareti dello sterro, trascinano seco le sabbie e determinano così scoscendimenti verticali e dilamazioni laterali, le quali vengono ad otturare lo scavo di mano in mano che si cerca di farlo progredire;

3° A motivo di quest'estrema mobilità del terreno, riesce assai difficile e talvolta impossibile la posa delle armature;

4° Trovato il mezzo di dare sfogo alle acque mediante un cunicolo aperto nel fondo dell'escavazione, il lavoro della perforazione riesce assai facilitato, giacchè risultano minori gli scoscendimenti verticali, di poca importanza le dilamazioni laterali, e possibile il collocamento delle armature;

5° Non appaiono generalmente alla superficie esterna del terreno

indizi dell'escavazione sotterranea, quando la larghezza di questa è minore della metà dell'altezza del terreno sul suo cielo, giacchè, anche nel caso che si verificchino scoscendimenti verticali per mancanza di armature, la sabbia, disponendosi a guisa di vòlta, finisce per trovare la superficie curva d'equilibrio che le conviene.

CAPITOLO II.

Forme e dimensioni dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili e dei loro pozzi.

7. **Condizioni generali cui devono soddisfare i rivestimenti delle gallerie in terreni mobili.** — Avuti i debiti riguardi alle principali dimensioni interne che in generale si devono conservare nei passaggi sotterranei, affinchè possano essi soddisfare alla loro destinazione, grandemente importa che i rivestimenti delle gallerie in terreni mobili siano progettati in modo: da essere la minima possibile la maggior larghezza dell'escavazione; da essere foggiate a guisa di tubi, affinchè, almeno approssimativamente, presentino la forma d'equilibrio conveniente alle enormi pressioni che sono destinati a sopportare; da avere tale grossezza che non valgano a romperli le forze esterne su essi operanti; da non prestarsi ad apprezzabili deformazioni, e segnatamente a restringimenti di sezione.

La prima condizione è indispensabile, affinchè la lotta da superarsi nell'escavazione di una galleria in terreni mobili non riesca più difficile di quanto esige l'entità del problema da risolversi. La seconda, la terza e la quarta condizione mirano ad ottenere un'opera in buone condizioni di stabilità.

8. **Sezioni rette delle superficie interne dei rivestimenti.** — Queste sezioni sono generalmente curve policentriche, ossia curve composte di più archi circolari raccordati fra di loro (*Geometria pratica applicata all'arte del costruttore*, Parte prima, Capit. III). Immaginando in una di queste curve, simmetrica rispetto alla verticale HG (*Fig. 34*), la retta orizzontale AB posta al livello del suolo stradale, e quindi l'altra orizzontale EF passante pei due punti E ed F in cui sono verticali le tangenti alla curva AGB, conviene distinguere la parte EGF, la quale trovasi al di sopra

dell'ultima indicata retta, dalle due parti EA ed FB che sono al di sotto. La prima delle accennate parti, che costituisce la direttrice della superficie d'intradosso del vólto della galleria, è una semi-ovale a cinque centri, oppure una semi-ovale a tre centri, e qualche volta una semi-circonferenza di circolo in una galleria per via ferrata ad un sol binario; quasi sempre è una semi-circonferenza circolare nel caso di una galleria per via ferrata a due binari. L'altra parte EA HBF può anche essere una semi-ovale a cinque od a tre centri, oppure può presentare nel suo mezzo l'arco IK non raccordato ai due attigui EI ed FK.

Trattando noi il caso di gallerie in terreni mobili, per le quali è necessario che le dimensioni interne siano le minime compatibili colla loro destinazione, ma che i piedritti rientrino al loro piede onde ottenere che le pressioni sui giunti infimi non cadano fuori dei giunti stessi (*Rottura e lavori di riparazione della Galleria dei Giovi*, ecc., Num. 42), si può ammettere che nelle gallerie per via ferrata ad un sol binario la larghezza \overline{EF} debba stare fra metri 5 e metri 5,50, mentre l'altezza \overline{DG} si può assumere variabile fra metri 5,45 e metri 5,50. La saetta \overline{CG} della direttrice del vólto varia fra metri 3,20 e metri 3,50, cosicchè l'altezza \overline{DC} oscilla allora fra metri 2,25 e metri 2.

Le gallerie per vie ferrate a due binari, atteso la grande larghezza che esse devono presentare, riescono di assai difficile esecuzione nei terreni mobili, e per dir vero non sapremmo presagire il risultato di una tale impresa nelle argille scagliose della terza varietà (Num. 3). Ad ogni modo, presentandosi il caso di dover assolutamente perforare una di queste gallerie in terreni mobili, converrà tenere la sua larghezza \overline{EF} fra metri 8 e metri 8,30, ed assumere l'altezza \overline{DG} siccome variabile fra metri 5,90 e metri 6,15. L'altezza \overline{DC} può variare da metri 1,90 a metri 2.

L'altezza \overline{DH} del suolo stradale sul punto più basso H del rivestimento suol essere fra $\frac{1}{4}$ ed $\frac{1}{8}$ di \overline{AB} .

9. Esempi di direttrici delle superficie interne dei rivestimenti di gallerie per vie ferrate ad un sol binario. — Gli esempi che considereremo saranno quattro, e precisamente quelli stati adottati dall'Ingegnere Lanino nelle gallerie d'Ariano, Starza e Cristina, dove il terreno presentava maggiori difficoltà. Per questi quattro esempi stabiliremo le relazioni fra i raggi e le ampiezze dei diversi

archi componenti le curve, ed indicheremo quali dimensioni furono assunte dall'Ingegnere suddetto.

1° *Direttrice a cinque centri, tanto sopra quanto sotto EF* (Fig. 35).

I dati del problema pel tracciamento della curva EGF sono

$2c$ ossia la larghezza \overline{EF} ,

m ossia l'altezza \overline{OG} .

Essendo rispettivamente O' , O'' ed O''' i centri dei tre archi GL, LM ed ME, il primo dei quali deve trovarsi sull'asse verticale OG affinchè sia orizzontale la tangente in G, ed il terzo sulla orizzontale EF affinchè sia verticale la tangente in E, se chiamansi

R' , R'' ed R''' i tre raggi $\overline{O'G}$, $\overline{O''L}$ ed $\overline{O'''M}$,

α' , α'' ed α''' le ampiezze dei tre angoli $LO'G$, $MO''L$ ed $EO'''M$, se pongonsi le due condizioni che le proiezioni della linea poligonale $G O' O'' O'''$ su HG e su EF sono rispettivamente $\overline{OG} = m$ ed $\overline{OO''} = R''' - c$, risultano le due equazioni

$$R' + (R'' - R') \cos \alpha' + (R''' - R'') \cos (\alpha' + \alpha'') = m \quad (1)$$

$$(R'' - R') \sin \alpha' + (R''' - R'') \sin (\alpha' + \alpha'') = R''' - c \quad (2),$$

alle quali bisogna aggiungere la relazione

$$\alpha' + \alpha'' + \alpha''' = 90^\circ \quad (3)$$

esprimente che la somma delle ampiezze degli archi componenti la mezza semi-ovale EMLG deve fare 90° .

Se poi si chiamano

m_1 l'altezza \overline{OH} ,

R_1' , R_1'' ed R_1''' i tre raggi $\overline{O_1'H}$, $\overline{O_1''I}$ ed $\overline{O_1'''A}$ occorrenti per la descrizione della curva EHF,

α_1' , α_1'' ed α_1''' le ampiezze dei tre angoli $IO_1'H$, $AO_1''I$ ed $EO_1'''A$, si hanno relazioni identiche alle (1), (2) e (3) col cangiamento di m , R' , R'' , R''' , α' , α'' ed α''' in m_1 , R_1' , R_1'' , R_1''' , α_1' , α_1'' ed α_1''' .

Dovendo la curva GEHFG essere simmetrica rispetto alla verticale GH, gli stessi raggi e gli stessi angoli della parte GEH serviranno pure per l'altra parte GFH, ed i centri O'' , O'' , O'' ed O'' saranno simmetrici, per rapporto a GH, dei centri O'' , O''' , O''' ed O''' .

Le equazioni (1), (2) e (3) costituiscono le relazioni che esistono fra la corda e la saetta di una semi-ovale a cinque centri, i raggi

e le ampiezze dei suoi tre archi differenti. Per rendere determinato il problema di descrivere una semi-ovale a cinque centri, quando si conosca la sua corda e la sua saetta, è adunque necessario di prestabilirsi tre dei sei elementi raggi ed angoli; se però osservasi che l'equazione (3) costituisce solo una relazione fra gli angoli, importa che fra i tre elementi prestabiliti siavi almeno un raggio.

Il signor Ingegnere Lanino, adottando il tipo di direttrice di cui stiamo ragionando, ha creduto conveniente di assumere

$$2c = \overline{EF} = 5^m,50$$

$$m = \overline{OG} = 3^m,50, \quad m_1 = \overline{OH} = 2^m,90.$$

Partendo da questi dati ha soddisfatto alle condizioni (1), (2) e (3): per la curva EGF con

$$R' = \overline{O'L} = \overline{O'N} = 2^m,028$$

$$R'' = \overline{O''L} = \overline{O''N} = 3, 208$$

$$R''' = \overline{O'''M} = \overline{O'P} = 4, 417,$$

$$\alpha' = L O' G = N O' G = 26^\circ 47' 18''$$

$$\alpha'' = M O'' L = P O'' N = 42 57 42$$

$$\alpha''' = E O''' M = F O' P = 20 15;$$

per la curva EHF con

$$R_1' = \overline{O'I} = \overline{O'K} = 4^m,375$$

$$R_1'' = \overline{O''I} = \overline{O''K} = 1, 350$$

$$R_1''' = \overline{O'''A} = \overline{O'B} = 4, 250,$$

$$\alpha_1' = I O' H = K O' H = 20^\circ 28' 58''$$

$$\alpha_1'' = A O'' I = B O'' K = 41 26 42$$

$$\alpha_1''' = E O''' A = F O' B = 28 4 20.$$

2° *Direttrice a cinque centri soltanto sopra la retta EF*
(Fig. 36).

La curva EHF, che serve come direttrice della superficie interna

dei piedritti e dell'arco rovescio, è destinata a rimanere in parte coperta dall'inghiaia per la strada che deve attraversare la galleria, e quindi non è assolutamente necessario che siano raccordati fra di loro gli archi circolari che la compongono. Ritenendo adunque di forma invariabile la parte EGF di direttrice posta sopra EF, si può modificare e semplificare la parte EHF componendola, per esempio, con tre archi circolari EA, AB e BF, il primo ed il terzo coi loro centri sulla retta EF ed il secondo col centro sulla verticale HG.

Il signor Ingegnere Lanino, ritenendo per la curva EGF gli elementi lineari ed angolari già stati indicati, ha creduto conveniente di adottare questi altri per la curva EHF avente (come nel caso precedente) metri 5,50 di corda e metri 2,90 di saetta,

$$\begin{aligned} \overline{O'H} &= \overline{O'A} = \overline{O'B} = 3^m,018 \\ \overline{O''E} &= \overline{O''A} = \overline{O''F} = \overline{O''B} = 3,633, \\ A O' H &= B O' H = 43^\circ 23' 43'' \\ E O'' A &= B O'' F = 33 \text{ } 24 \text{ } 8. \end{aligned}$$

3° *Direttrice a tre centri, tanto sopra, quanto sotto EF (Fig. 37).*

Conservando alle lettere *c* ed *m* i significati che loro furono attribuiti nel primo esempio, dicendo

R' ed *R''* di due raggi $\overline{O'G}$ ed $\overline{O''L}$,

α' ed *α''* i due angoli $\angle LO'G$ ed $\angle EO''L$,

e partendo dalle stesse considerazioni che servirono per stabilire le equazioni (1), (2) e (3), si ottengono le tre relazioni

$$R' + (R'' - R') \cos \alpha' = m \quad (4),$$

$$(R'' - R') \sin \alpha' = R'' - c \quad (5),$$

$$\alpha' + \alpha'' = 90^\circ \quad (6),$$

le quali si prestano, per la semi-ovale EGF, alla determinazione di tre delle quattro quantità *R'*, *R''*, *α'* ed *α''* quando siasi fissata la quarta.

Le stesse relazioni si hanno fra gli elementi *c*, *m*₁, *R*₁', *R*₂', *α*₁' ed *α*₂' della semi-ovale a tre centri EHF.

La curva GEHF deve essere simmetrica rispetto alla verticale

GH, e quindi gli elementi lineari ed angolari convenienti alla parte GEH serviranno pure per l'altra parte GFH.

Il signor Ingegnere Lanino adottò, in alcune parti delle gallerie di cui diresse i lavori, la direttrice di cui stiamo ragionando; credette conveniente di costruire cogli stessi elementi le due semi-ovali EGF ed EHF; assunse

$$2c = \overline{EF} = 5^m,80$$

$$m = m_1 = \overline{OG} = \overline{OH} = 3^m,20;$$

e soddisfò alle relazioni (4), (5) e (6) col prendere

$$R' = R'_1 = \overline{O'L} = \overline{O'N} = \overline{O'I} = \overline{O'K} = 2^m,790$$

$$R'' = R''_1 = \overline{O''L} = \overline{O''N} = \overline{O''I} = \overline{O''K} = 3,608,$$

$$\alpha' = \alpha'_1 = \angle O'G = \angle NO'G = \angle IO'H = \angle KO'H = 60^\circ$$

$$\alpha'' = \alpha''_1 = \angle EO''L = \angle FO''N = \angle EO''I = \angle FO''K = 30^\circ.$$

4° *Direttrice a tre centri soltanto sopra la retta EF (Fig. 38).*

Analogamente a quanto si è fatto nel secondo esempio, la direttrice della superficie interna dei piedritti e dell'arco rovescio si può comporre con tre archi circolari EI, IK e KF, il primo ed il terzo coi loro centri sulla retta EF, il secondo col suo centro sulla verticale HG, ma non raccordato coi due archi attigui.

Il signor Ingegnere Lanino, adottando questo tipo di direttrice, assunse

$$2c = \overline{EF} = 5^m,40,$$

$$m = \overline{OG} = 3^m,20 \qquad m_1 = \overline{OH} = 3^m,15;$$

soddisfò, per la curva EGF, alle relazioni (4), (5) e (6) col porre

$$R' = \overline{O'L} = \overline{O'N} = 2^m,408$$

$$R'' = \overline{O''L} = \overline{O''N} = 3,628,$$

$$\alpha' = \angle O'G = \angle NO'G = 49^\circ 32' 20''$$

$$\alpha'' = \angle EO''L = \angle FO''N = 40^\circ 27' 40'';$$

ed agli archi componenti la linea EIKF assegnò i raggi e le ampiezze

$$\begin{aligned}\overline{O'H} &= \overline{O'I} = \overline{O'K} = 3^m,942 \\ \overline{O''E} &= \overline{O''I} = \overline{O''F} = \overline{O''K} = 3^m,966, \\ IO'H &= KO'H = 22^\circ 3' 10'' \\ EQ'I &= FQ''K = 46 10 51.\end{aligned}$$

10. **Esempi di direttrici delle superficie interne dei rivestimenti di gallerie per vie ferrate a due binari.** — Verificandosi il caso di dover costruire in terreni mobili una galleria per via ferrata a due binari, si possono adottare i seguenti due tipi di direttrice della superficie interna.

1° *Direttrice semi-circolare sopra ed a cinque centri sotto EF* (Fig. 40).

I dati del problema sono la larghezza $\overline{EF} = 2c$ e l'altezza $\overline{OH} = m_1$. Chiamando poi

R_1', R_1'' ed R_1''' i tre raggi $\overline{O'H}$, $\overline{O''C}$ ed $\overline{O'''D}$,
 α_1', α_1'' ed α_1''' i tre angoli $CQ'H$, $DQ''C$ ed $EQ'''D$,
 si hanno le relazioni (Num. 9)

$$\left. \begin{aligned} R_1' + (R_1'' - R_1') \cos \alpha_1' + (R_1''' - R_1'') \cos (\alpha_1' + \alpha_1'') &= m_1 \\ (R_1'' - R_1') \sin \alpha_1' + (R_1''' - R_1'') \sin (\alpha_1' + \alpha_1'') &= R_1''' - c \\ \alpha_1' + \alpha_1'' + \alpha_1''' &= 90^\circ \end{aligned} \right\} (1),$$

le quali, fissati tre dei sei elementi $R_1', R_1'', R_1''', \alpha_1', \alpha_1''$ ed α_1''' in modo che fra essi siavi almeno un raggio, servono per la deduzione degli altri tre.

Assumendo

$$\begin{aligned} 2c &= \overline{EF} = 8^m,30 \\ m_1 &= \overline{OH} = 2, 90 \end{aligned}$$

e ponendo la condizione che siano

$$\begin{aligned} R_1''' &= \overline{O'''E} = \overline{O'F} = 5^m, \\ \alpha_1' &= CQ'H = IO'H = 22^\circ, \\ \alpha_1'' &= DQ''C = KQ''I = 55^\circ, \end{aligned}$$

le equazioni (1) danno

$$R_1' = \overline{O'H} = \overline{O'C} = \overline{O'I} = 8^m,062$$

$$R_1'' = \overline{O''C} = \overline{O''I} = 1^m,692$$

$$\alpha_1''' = D O''' E = K O' F = 13^\circ.$$

2° *Direttrice semi-circolare sopra e con tre archi non raccordati sotto EF (Fig. 41).*

Questa direttrice può essere fatta in modo che gli archi EA ed FB, corrispondenti ai piedritti, abbiano o raggio maggiore o raggio eguale a quello della semi-circonferenza EGF. L'arco AHB, che corrisponde all'arco rovescio, è determinato dalla condizione di dover passare pei tre punti dati A, H e B.

Assumendo gli archi EA ed FB in continuazione della semi-circonferenza EGF, e ponendo

$$2c = \overline{EF} = 8^m$$

$$m_1 = \overline{OH} = 2,90$$

$$\overline{OD} = 1,90,$$

si ottiene:

$$\overline{AB} = 2 \sqrt{A O^2 - O D^2} = 7^m,04;$$

e quindi, considerando la \overline{AD} come una semi-corda nella circonferenza di raggio \overline{OH} ossia come media proporzionale fra i due segmenti adiacenti del diametro, risulta

$$\overline{OH} = 6^m,695.$$

11. Osservazioni sui proposti esempi di direttrici delle superficie interne dei rivestimenti. — Gli esempi che abbiamo presentato, per le direttrici delle superficie interne dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili, non sono i soli adottabili, ed il costruttore, attenendosi alle generali condizioni da noi esposte, può modificarli, ed in ogni caso progettarli nel modo più confacente alle condizioni in cui deve far eseguire i suoi progetti. Siccome però la convenienza dei tipi stati indicati già venne sancita dalla pratica, non sarà possibile

di molto scostarsi da essi, e generalmente si può ritenere: che i tipi rappresentati nelle figure 35, 36 e 40 possono convenire per le gallerie nelle argille scagliose della prima varietà; che i tipi dati colle figure 37 e 41 possono tornare utili per le gallerie nelle argille scagliose della seconda varietà; e che il tipo indicato nella figura 38 può servire per le gallerie di via ferrata ad un sol binario e nelle argille scagliose della terza varietà.

Studiando la stabilità del primitivo e del nuovo rivestimento della Galleria dei Giovi, abbiamo fatto notare (Num. 42) la convenienza di tenere i piedritti piuttosto in rientranza verso il vano della galleria onde raggiungere lo scopo che la pressione, sui giunti infimi dei piedritti stessi, non venga a portarsi troppo presso la loro superficie interna. Nei tipi stati riportati si è appunto cercato di realizzare quest'importante condizione e di assicurare così il rivestimento dove generalmente esistono gravi pericoli di schiacciamento dei materiali.

Fra i diversi tipi stati proposti, non venne indicata la forma perfettamente circolare, quantunque già in molti casi siasi adottata. Questa forma è quella che conviene per un anello sottoposto a pressioni uniformi su tutto lo sviluppo estradosale, e quindi non è la più razionale pei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili, dove le pressioni si possono benissimo ritenere siccome sensibilmente normali all'estradosso, ma non uniformi, giacchè, atteso l'altezza della galleria, generalmente non trascurabile a fronte di quella della terra mobile che le sovrasta, quelle sulle parti più basse riescono generalmente maggiori di quelle sulle parti più elevate. Aggiungasi ancora che per lo studio delle condizioni di stabilità di tali rivestimenti bisogna anche tener conto del loro peso, il quale ha pure un'influenza sensibile nel far sì che la forma perfettamente circolare si scosti, principalmente per la loro base, dalla forma d'equilibrio.

Aggiungasi ancora che la forma circolare presenta l'inconveniente di richiedere uno sterro assai maggiore di quello necessario per soddisfare allo scopo delle gallerie, e di aumentare le difficoltà d'escavazione a motivo della maggior larghezza che ad esse bisogna assegnare.

12. Grossezze dei rivestimenti. — Nelle gallerie in terreni mobili è indispensabile il rivestimento murale, e la sua grossezza deve essere tanto maggiore, quanto più grande è la mobilità delle terre, e quanto più energiche saranno per risultare le pressioni di queste

contro quello. In ogni caso particolare, fattosi un concetto della natura del terreno e della colonna di terra mobile sovrastante al rivestimento da farsi, si compirà il progetto cercando d'uniformarsi a quanto venne praticato in circostanze analoghe per gallerie che hanno fatto buona prova; e quindi si potrà procedere alla verifica- zione della sua stabilità seguendo i metodi stati dati in questo vo- lume parlando della rottura, dei lavori di riparazione della Galleria dei Giovi e delle conseguenze per la determinazione delle grossezze dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili. Dopo una prima verifica- zione, riuscirà generalmente facile scoprire le modificazioni da introdursi nel progetto, onde poterlo assumere come definitivo; e, quando abbiasi ancora qualche dubbio sull'opportunità del pro- getto modificato, si potrà sottoporre ad una nuova verifica- zione, e così continuare fino ad accertarsi dell'indiscutibile convenienza di adottarlo.

Un'idea delle grossezze già state adottate pei rivestimenti di gal- lerie in terreni mobili si ha nella seguente tavola

INDICAZIONE DEL TERRENO	GROSSEZZE					
	ALLA CHIAVE		ALL' IMPOSTA		DELL'ARCO ROVESCIO	
Argilla scagliosa della 1 ^a varietà	da	0 ^m ,65 a 0 ^m ,90	da	0 ^m ,85 a 1 ^m ,10	da	0 ^m ,50 a 0 ^m ,75
" 2 ^a "		0, 90 1, 40		1, 10 1, 70		0, 75 1, 25
" 3 ^a "		1, 40 2, 00		1, 70 2, 50		1, 25 1, 40
Sabbia bollente		0, 60 1, 00		0, 60 1, 25		0, 40 0, 75

Faremo ancora notare: che gli ingrossamenti del vólto dalla chiave alle imposte si fanno generalmente mediante riseghe (*Fig.* 36, 38 e 41); che i piedritti hanno qualche volta, e per una parte della loro altezza, spessore costante, ma che nelle parti più basse aumentano generalmente di grossezza; che questi aumenti si otten- gono facendo in modo che le facce dei piedritti verso terra siano verticali o quasi verticali (*Fig.* 36 e 37), oppure componendo cia- scuna di queste facce con una superficie cilindrica e con una su- perficie piana ad essa tangente in *a* e *b* (*Fig.* 38, 40 e 41); che l'arco rovescio si fa talvolta con spessore costante in modo da appoggiare sul terreno mediante una superficie cilindrica (*Fig.*

35 e 40), talaltra con una spessezza variabile col fare in guisa che la sua base d'appoggio sia costituita da due piani inclinati (*Fig.* 36, 37, 38 e 41).

13. **Nicchie.** — Le nicchie, che sempre si costruiscono nelle gallerie per ricoverare il personale di sorveglianza al passaggio dei convogli, hanno generalmente una larghezza variabile fra metri 1,80 e metri 2. Per le gallerie in terreni mobili però, convenendo di assegnare a tutte indistintamente le escavazioni la minor larghezza possibile, la detta dimensione delle nicchie può essere ridotta a metri 1,25.

L'altezza delle nicchie sotto le imposte delle volte che le coprono varia generalmente fra metri 1,75 e metri 2,20; e la loro altezza massima interna sta fra metri 2,10 e metri 2,50. La profondità delle nicchie è sovente metri 1,25 e metri 1,50; ed i loro rivestimenti murali hanno generalmente grossezza non molto inferiore a quella del vólto della galleria in cui si trovano.

14. **Pozzi.** — Anche per le gallerie in terreni mobili si possono adottare due sistemi di pozzi; quello dei pozzi laterali, e quello dei pozzi col loro asse nel piano verticale dell'asse della galleria.

I pozzi del primo sistema si progettano generalmente in modo da essere il loro asse verticale distante da quello delle gallerie da 9 a 12 metri, ed è mediante una piccola galleria trasversale che si va dal fondo del pozzo alla galleria principale. Questi pozzi si rivestono generalmente di muratura; la sezione orizzontale del loro vano può essere circolare con diametro variabile fra metri 3 e metri 3,50, oppure ovale coll'asse maggiore fra metri 3,25 e metri 3,50 e coll'asse minore fra metri 3 e metri 3,20; la grossezza del rivestimento, a seconda della maggiore o minore mobilità del terreno, può oscillare fra metri 0,25 e metri 0,60. Invece di fare questi rivestimenti con grossezza uniforme, conviene generalmente assegnare alla scorza murale una grossezza variabile fra metri 0,25 e metri 0,37, e rinforzarli quindi mediante ben disposte nervature.

I pozzi del secondo sistema hanno sovente sezione rettangolare, e, siccome ad opera finita quasi sempre si chiudono, si rivestono generalmente con tavoloni mantenuti a posto da robuste intelaiature di legno. I lati della sezione orizzontale di questi pozzi variano fra metri 4 e metri 4,50 il maggiore, e fra metri 2,25 e metri 3 il minore.

15. **Rivestimenti delle gallerie trasversali per giungere dalla galleria principale ai pozzi.** — Si possono assegnare ai rivesti-

menti di queste gallerie trasversali le stesse altezze delle gallerie principali, oppure altezze minori. Sommamente però importa che nei terreni mobili la loro larghezza sia la minima compatibile colla loro destinazione.

Nella figura 39 è rappresentata la sezione retta del rivestimento di una galleria trasversale alta come la corrispondente galleria principale. La sua larghezza massima \overline{EF} , che trovasi a metri 2,20 sotto la generatrice più alta della sua superficie d'intradosso, è di metri 3,20; e la sua altezza totale al disopra del livello AB del suolo stradale risulta di metri 5,50. Le curve direttrici EGF ed EHF della superficie interna sono due semi-ovali a tre centri, determinate dalla corda comune

$$2c = \overline{EF} = 3^m,20,$$

e dalle saette

$$m = \overline{OG} = 2^m,20$$

$$m_1 = \overline{OH} = 4,109.$$

Il signor Ingegnere Lanino soddisfò alle condizioni (4), (5) e (6) del numero 9 assumendo: per la semi-ovale EGF

$$R' = \overline{O'G} = \overline{O'L} = \overline{O'N} = 1^m,42$$

$$R'' = \overline{FL} = \overline{EN} = \overline{EF} = 3,20$$

$$\alpha' = \angle O'G = \angle N O'G = 64^\circ 0' 46''$$

$$\alpha'' = \angle EFL = \angle FEN = 25 59 14;$$

per la semi-ovale EHF

$$R_1' = \overline{O'H} = \overline{O'A} = \overline{O'B} = 1^m,15$$

$$R_1'' = \overline{O''A} = \overline{O''B} = 11^m,14,$$

$$\alpha_1' = \angle A O' H = \angle B O' H = 72^\circ 46' 5''$$

$$\alpha_2' = \angle A O' E = \angle B O' F = 17 13 55.$$

Questo tipo di rivestimento delle gallerie trasversali, destinate a congiungere i pozzi colla galleria principale, non può convenire nei terreni molto mobili come sono le argille scagliose della seconda

e della terza varietà, ed in questi due casi sono preferibili le gallerie trasversali meno alte della galleria principale, e foggiate presso a poco come in sezione appare dalla figura 42. La curva $E G F H$, che costituisce la direttrice della superficie interna, è un ovale costituita da quattro archi circolari coi loro centri in O' , O'' , O''' ed O' . L'asse orizzontale $E F$ di quest'ovale è di metri 3,20, e di metri 3,80 il suo asse verticale $H G$. Il signor Ingegnere Lanino, progettando questa curva direttrice, soddisfò alle citate condizioni (4), (5) e (6) del numero 9 col porre

$$R' = R_1' = \overline{O'G} = \overline{O'H} = 1^m,490$$

$$R'' = R_1'' = \overline{O''E} = \overline{O'''F} = 2,309,$$

$$\alpha' = \alpha_1' = \angle O'G = \angle NO'G = \angle O'H = \angle KO'H = 60^\circ$$

$$\alpha'' = \alpha_1'' = \angle E O''L = \angle F O'''N = \angle O''E = \angle K O'''F = 30^\circ.$$

La superficie esterna del rivestimento di una piccola galleria trasversale può essere parallela a quella interna, come risulta dalla figura 39, onde conservare al rivestimento grossezze costanti nel vólto, nei piedritti e nell'arco rovescio. Nei casi più difficili però importa che la grossezza del vólto aumenti dalla chiave alle imposte, ciò che si fa mediante riseghe, e che la grossezza dei piedritti s'accresca notevolmente verso il loro piede, ciò che si ottiene terminandoli contro terra con una faccia verticale. Qualora poi si reputi che quest'ultima forma di piedritti finisca per assegnare eccessive dimensioni alle loro basi, si possono adottare per direttrici delle loro superficie esterne le linee abc (*Fig. 42*) e def composte degli archi ab e de , concentrici di EI e di FK e delle rette bc ed ef , tangenti a questi archi nei punti b ed e . La superficie di posa delle gallerie trasversali sul terreno può essere cilindrica come nella figura 39; nei casi difficili però deve essere orizzontale oppure costituita da due piani facenti un piccolo angolo coll'orizzonte, come risulta dalla figura 42.

Per quanto si riferisce alle grossezze dei rivestimenti delle piccole gallerie trasversali in terreni mobili, si possono ritenere i dati contenuti nella tavola che presentiamo

INDICAZIONE DEL TERRENO	GROSSEZZE		
	ALLA CHIAVE	ALL' IMPOSTA	DELL'ARCO ROVESCIO
Argilla scagliosa della 1 ^a varietà	da 0 ^m ,50 a 0 ^m ,70	da 0 ^m 55 a 0 ^m ,90	da 0 ^m ,45 a 0 ^m ,60
" 2 ^a "	0, 70 0, 90	0, 90 1, 25	0, 60 0, 80
" 3 ^a "	0, 90 1, 20	1, 25 1, 50	0, 80 1, 00
Sabbie bollenti	0, 50 0, 75	0, 50 1, 10	0, 40 0, 60

Nella figura 43, in sezione orizzontale secondo la spezzata ABCD ed in sezione verticale secondo il piano determinato dalla retta EF, è rappresentata la giunzione di un pozzo con una galleria trasversale, ed il congiungimento di quest'ultima colla galleria principale.

16. **Condotti per lo scolo delle acque.** — Quasi sempre dal vólto e dai piedritti delle gallerie gocciolano acque che importa di raccogliere in appositi condotti, onde smaltirle per una o per ambedue le estremità. Nelle gallerie in terreni mobili, a motivo dell'esistenza dell'arco rovescio, questi condotti sono sempre stabiliti come risulta dalle figure 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42 e 43, ossia in corrispondenza degli assi delle gallerie.

Le dimensioni dei condotti di cui stiamo ragionando, sono variabili colle portate che devono smaltire, e nelle ordinarie circostanze, in cui non è il caso di dar sfogo ad abbondanti acque sorgive, si può ritenere che la larghezza e l'altezza interna degli accennati condotti variano da metri 0,30 a metri 0,45; che le loro sponde hanno grossezza la quale sta fra metri 0,26 e metri 0,36; che le lastre di pietra con cui generalmente si coprono, non hanno spessore maggiore di metri 0,10, con una larghezza d'appoggio sulle sponde di metri 0,07 a metri 0,10. In quelle località in cui si difetta di lastre di pietra, si possono coprire i condotti di scolo mediante piccole vólte di mattoni con grossezza di circa metri 0,12; che anzi non è raro il caso di veder direttamente impostato sull'arco rovescio il vólto che deve servire di coperta del condotto (*Fig. 41*).

Nelle parti basse delle sponde dei condotti si lasciano numerose fenditure per le quali passano le acque, che, dopo aver attraversato le materie costituenti l'inghiaimento di cui è coperto l'arco rovescio, s'incamminano a prendere il libero loro corso. Affinchè poi non vengano a portarsi nei detti condotti le materie costituenti

l'inghiaziata, si pongono avanti alle dette aperture alcune pietre un po' grosse ed irregolari, le quali, trattenendo i materiali minuti, lasciano passare le acque d'infiltrazione per gli interstizi fra esse esistenti.

Se nell'escavazione della galleria (come non di rado avviene nei terreni di sabbia bollente) si trovano abbondanti acque sorgive, può darsi che i condotti colle dimensioni indicate riescano insufficienti al completo smaltimento. In questo caso, oltre di fare il condotto principale disposto secondo l'asse della galleria con dimensioni sufficienti per lo scopo a cui deve servire, importa di ben incamminare ad esso le acque mediante apposite e ben intese disposizioni, come quelle che brevemente passiamo ad indicare.

Presentandosi delle lame d'acqua che arrivano alla galleria in direzione normale, o quasi normale al suo asse, conviene stabilire fra il piedritto ed il terreno una specie di fogna F (*Fig. 44*) riempita di pietre irregolari od anche di fascine. Le acque passano da questa fogna in condotti trasversali T, posti a distanze più o meno grandi, secondo lo smaltimento di cui devono essere capaci, aventi il loro fondo sull'arco rovescio, e scaricantisi nel condotto principale P. Talvolta può convenire di fare la fogna F con fondo impermeabile di muratura o di calcestruzzo, come risulta dalla figura 45.

Se invece le lame d'acqua hanno una direzione che coincide o che si allontana poco da quella dell'asse della galleria, può essere il caso di pensare affinché, ad opera finita, abbiano sfogo attraversando l'arco rovescio. Perciò si potrà adottare la disposizione rappresentata nella figura 46 in sezione longitudinale secondo la retta AB, ed in sezione trasversale secondo la retta CD. L'arco rovescio trovasi di tanto in tanto interrotto in modo da esservi nel mezzo di due parti che si succedono una distanza ab compresa fra metri 0,15 e metri 0,30. Nel muricciuolo verticale posto fra di esse si lasciano alcune fenditure per cui le acque possono aver sfogo e sgorgare sulla superficie concava della parte inferiore dell'arco rovescio. Al di dietro di questo muricciuolo si ha l'avvertenza di mettere alcune pietre od anche alcune fascine, onde impedire che le acque trascininino terre e sabbie che potrebbero ostruire i condotti. L'acqua sgorgante dalle indicate fenditure è raccolta nel condotto trasversale T che si trova di faccia alle fenditure stesse, e che ha il suo fondo all'origine della parte inferiore dell'arco rovescio. Generalmente conviene prolungare quest'ultimo condotto in modo da attraversare e l'uno e l'altro piedritto della galleria, per farlo così servire a

ricevere le acque che è possibile raccogliere mediante le fogne F, alle quali, quando l'abbondanza delle infiltrazioni e la natura del terreno lo esigano, si può anche dare un fondo impermeabile, adottando disposizioni analoghe a quella risultante dalla figura 46.

Per essere sicuri che i condotti di scolo funzionano regolarmente, per raccogliere le materie terrose che possono trascinare le acque, e per quindi estrarle, affinchè non diventino causa d'ostruzione, servono i pozzetti d'esplorazione. Questi pozzetti d'esplorazione si pongono a distanza di 50 o tutto al più di 100 metri l'uno dall'altro, e come in sezione orizzontale secondo la retta AB (*Fig.* 47), ed in sezione verticale secondo la retta CD, risulta dalla figura 47, si fanno con un piccolo allargamento del condotto e con un affondamento del suo fondo di circa metri 0,20. Quasi al livello della superficie superiore dell'inghiaia sono coperti da lastre di pietra, e togliendo queste lastre, oltre di riconoscere se l'acqua corre liberamente, si può provvedere allo spurgo dei condotti col togliere le materie terrose che si saranno depositate nel fondo dei pozzetti. Quando gli scoli hanno luogo mediante condotti trasversali che imboccano nel condotto longitudinale, può convenire di stabilire i pozzetti d'esplorazione negli incontri di quelli con questo.

Il condotto principale di una galleria con arco rovescio si trova sempre disposto sul mezzo dell'arco stesso, e quindi partendo dalla galleria, questo condotto deve piegare e generalmente bipartirsi, onde portare le acque nei fossi laterali della strada. La disposizione che si può usare per raggiungere l'intento è rappresentata nella figura 48, la quale rappresenta una sezione orizzontale a circa metà altezza dei piedritti del condotto P. L'angolo in *a*, dove ha luogo la biforcazione del canale P nei due laterali L, non deve essere minore di 90°.

17. Disposizioni alle teste. — Le disposizioni per le estremità delle gallerie in terreni mobili non possono essere differenti da quelle già state indicate nel numero 132 del volume della nostra *Arte di fabbricare*, intitolato *Costruzioni civili, stradali ed idrauliche*; e quindi, a seconda delle accidentalità della superficie del terreno, si possono adottare le teste con muri di risvolto, quelle con muri d'ala e quelle con muri in prolungamento, usando principalmente queste avvertenze: di porre gli imbocchi al riparo delle frane superficiali, prolungando sufficientemente la galleria, e facendo, se occorre, una parte di essa a cielo scoperto; di assegnare ai muri di risvolto, ai muri d'ala ed ai muri in prolungamento grossezze in rapporto colle enormi spinte,

a cui si possono trovare soggetti, qualora debbano servire pel sostegno di argille scagliose; di stabilire appositi condotti, e, ravviandosi appena il bisogno, un ben inteso sistema di drenaggio per dare pronto scolo alle acque piovane ed a quelle d'infiltrazione.

Le teste con muri in prolungamento sono generalmente quelle il cui uso si presenta più spontaneo nella costruzione delle gallerie in terreni mobili, e, quando i loro accessi sono preceduti da trincee in terreni compressibili, sovente i muri in prolungamento si riuniscono per tutta o per una parte della loro lunghezza con un arco rovescio come in sezione trasversale appare dalla figura 49, I muri in prolungamento servono ad impedire che le terre vengano in basso ad ostruire la trincea; l'arco rovescio ha per ufficio di rendere stabile il suolo stradale, ripartendo la pressione su una base ampia, ed anche di consolidare i due muri ai loro piedi; alcune opere di drenaggio che talvolta si fanno dietro i detti muri, riescono utili per dar pronto scolo alle acque, e per quindi impedire che le terre prendano uno stato di eccessiva mobilità.

18. Disposizioni da adottarsi per diminuire le deformazioni dei rivestimenti. — I rivestimenti delle gallerie in terreni mobili, atteso le enormi pressioni alle quali si trovano sottoposti, non possono a meno di deformarsi, e sommamente importa di fare in modo che le deformazioni si mantengano entro dati limiti, al di là dei quali sarebbe compromessa la loro stabilità. Per raggiungere l'intento, oltre di assumere la loro grossezza in armonia colla resistenza dei materiali e colle pressioni massime alle quali saranno per trovarsi esposti, conviene porre nei siti in cui vi è maggior pericolo di rottura per schiacciamento appositi filari di resistente pietra tagliata.

Generalmente nelle gallerie in terreni mobili si verificano le pressioni massime all'intradosso nel giunto di chiave e nei giunti situati dove i piedritti si uniscono all'arco rovescio, all'estradosso nei giunti che fanno angoli da 50° a 60° colla verticale. Segue da ciò: che i detti filari di pietra tagliata si possono disporre come lo dimostra la figura 50, ossia in A, B e C; e che ogni filare si può comporre con tre corsi di pietra, in modo che il corso di mezzo abbracci l'intera grossezza del rivestimento, e che i due corsi laterali si estendano dalla metà ai due terzi della grossezza medesima. In A e C, ossia nei siti in cui le pressioni massime tendono verificarsi verso l'interno della galleria, convien porre i due corsi laterali dalla parte dell'intradosso, mentre in B, dove la pressione massima

tende verificarsi verso l'esterno, riesce vantaggioso collocare i detti corsi laterali dalla parte dell'estradosso.

Può anche essere utile la disposizione di tre corsi di pietra alla chiave e di due corsi in B e C estendentisi per tutta la grossezza del rivestimento.

I filari di pietra disposti come si è detto, grandemente contribuiscono per impedire la formazione di cerniere di rotazione all'intradosso ed all'estradosso dei rivestimenti, hanno per effetto d'opporci al concentramento di eccessive pressioni sopra superficie poco estese, di far diminuire le deformazioni e di mantenere le curve delle pressioni le più prossime possibile alle curve dei centri dei giunti. Nelle ultime operazioni di ristauo della Galleria dei Giovi non furono dimenticati questi filari di pietra tagliata, e siamo convinti che sono dovute in gran parte alla loro presenza le buone condizioni di stabilità del nuovo rivestimento.

CAPITOLO III.

Sistemi d'esecuzione delle gallerie in terreni mobili.

19. **Indicazione dei principali sistemi d'esecuzione delle gallerie.** — Questi sistemi sono tre denominati, *sistema d'attacco in calotta*, *sistema d'attacco in tutta sezione*, e *sistema d'attacco in cunetta*.

Il *sistema d'attacco in calotta*, detto anche *sistema belga* dal luogo dove pare che per la prima volta sia stato applicato, consiste nello scavare innanzi tutto la parte superiore della galleria, nel costrurre dopo la vòlta e quindi i piedritti per sottomurazione. Questo sistema è indubitatamente il più usato, e presenta i seguenti vantaggi: l'attacco, diviso in parti indipendenti, si può liberamente sviluppare e celereamente far avanzare; le escavazioni da farsi volta per volta possono essere ridotte ad avere piccole dimensioni; il cielo della galleria, che è la parte più pericolosa, si riveste pel primo di muratura. Per contro si devono considerare come svantaggi del sistema, quello di dover lasciare la vòlta per qualche tempo impostata sul terreno, e tutti quelli altri che sono inerenti al processo di sottomurazione dei piedritti.

Essendo ABCDE (*Fig. 51*) la totale sezione per lo scavo della galleria, e DB la retta che definisce il piano orizzontale delle imposte del vólto, s'incomincia l'attacco aprendo la piccola *avanzata* I al cielo della galleria. Dopo si affonda l'escavazione facendo lo *strozzetto* di calotta II; e quindi si fa l'*allargamento* per l'intera calotta mediante le due escavazioni III. In seguito, si costruisce la muratura del vólto per anelli; si apre il canale dello *strozzo* in IV; si fanno le breccie V pei piedritti e si costruiscono infine le murature per questi ultimi. Nei terreni che hanno una certa compattezza e nei quali difficilmente avvengono subitanei scoscendimenti, si intraprendono nel medesimo tempo le escavazioni II e III (*Fig. 52*). La larghezza da assegnarsi al canale dello strozzo sarà più o meno grande, secondo che il terreno sarà più o meno resistente, ed in alcuni casi, invece di aprire il detto canale e poi le breccie, potrà convenire di scavare diverse tratte della parte inferiore della galleria metà per volta. Le armature e puntellature degli scavi, ed anche le lunghezze di questi nel senso longitudinale della galleria, dovranno variare colla natura e colla mobilità del terreno. Lo strozzetto II si farà separatamente dagli allargamenti III soltanto quando il terreno non consenta di aprire l'intero scavo in calotta, prima che sia ultimata la muratura dell'anello precedente di vólto.

Nei terreni non aventi i caratteri di mobilità delle argille scagliose e delle sabbie bollenti, si può costrurre la calotta per una considerevole lunghezza prima di dar mano all'incominciamento dei piedritti; il vólto senza inconvenienti può restare impostato sul terreno per molto tempo ed anche per più di un anno; si può fare in modo che l'avanzata preceda l'allargamento di 50 ed anche di 80 metri, e quest'ultimo di quasi altrettanto la costruzione del vólto. Nelle argille scagliose invece, e principalmente nella terza varietà di questo terreno, è imperiosa necessità di far procedere gli attacchi in modo più raccolto, più sistematico e con molte precauzioni, come in seguito verrà indicato.

Il *sistema d'attacco in tutta sezione* ha per iscopo di costruire per prima la parte inferiore della galleria e di impostare il vólto sui piedritti già completamente eseguiti. Nella pratica applicazione di questo sistema si conoscono due metodi, l'*inglese* e l'*austriaco*, i quali, avendo di comune il processo in tutta sezione, molto differiscono nell'ordine delle fasi dell'esecuzione, e quindi anche nel modo di armare e puntellare l'escavazione ed i rivestimenti.

Nel metodo inglese le operazioni per l'esecuzione della galleria

si estendono ad un sol anello per volta; si scava il terreno ad esso corrispondente armando la parete dell'escavazione mediante longarine, le quali per un'estremità hanno appoggio sulla muratura precedente, e per l'altra su un cavalletto collocato contro la fronte, che generalmente si riveste di tavole. Fatto questo, si costruisce il rivestimento incominciando dall'arco rovescio, e rimane sospesa ogni escavazione, ad eccezione di quella della piccola avanzata, fino al compimento dell'anello incominciato. La lunghezza degli anelli da costruirsi l'uno dopo l'altro è subordinata alla natura ed alla mobilità del terreno in cui la galleria viene aperta; e si può ritenere che nelle ordinarie circostanze questa lunghezza varia di 3 a 4 metri. Se le longarine piegano sotto l'azione premente del terreno, è necessario sostenerle mediante puntelli intermedi; ma allora, a motivo dell'ingombro che ne nasce, va perduto il principale vantaggio del sistema che consiste principalmente nella libertà di manovra e nella facilità d'esecuzione della muratura. Se poi il terreno spinge verso il vano della galleria, importa combattere l'avanzamento della fronte d'escavazione, ciò che si ottiene collocando alcuni puntelli inclinati coi loro piedi contro la muratura già eseguita. Conviene però notare che le centine, per la costruzione del vólto, fanno impedimento per disporre convenienti puntelli nell'alto, cosicchè in un'escavazione alta da 8 a 9 metri e larga altrettanto, se le pressioni sono della potenza di quelle delle argille scagliose della terza varietà, può darsi che i detti puntelli riescano insufficienti allo scopo, il quale si potrebbe per altro raggiungere adottando qualche ripiego analogo allo scudo stato impiegato da Brunel nel Tunnel del Tamigi.

Nel metodo austriaco essendo ABCDE (*Fig.* 53) la totale sezione dello scavo della galleria, e BD la linea corrispondente alle imposte del vólto, s'incomincia l'escavazione coll'avanzata I al suolo della galleria, e questa prima operazione si può proseguire indipendentemente dalle altre. Aperta per una certa lunghezza l'avanzata, si scava il cunicolo II, più breve e generalmente più stretto dell'avanzata stessa e posto alla sommità della calotta. Dopo di ciò, si affonda questo cunicolo mediante l'escavazione III, fino a scoprire il cappello dell'avanzata inferiore I, e si collocano i puntelli definitivi centrali. Poscia si dà mano ad allargare lo sterro mediante le escavazioni IV, V, VI, VII ed VIII, e man mano che questo succede si compongono le diverse parti delle armature fino a completarle totalmente. Compiuto ed armato lo scavo per una certa lun-

ghezza, si costruisce la muratura dei piedritti e quindi quella del vólto. Ultimo a farsi è l'arco rovescio, giacchè si deve aspettare finchè siano tolti i quadri inferiori dei cavalletti e rimosse le soglie. Nel senso dell'asse della galleria, l'attacco si può estendere per quanto lo consente la qualità del terreno. Se questo lo permette, si può fare lo scavo della fronte a gradinate, ed anche lavorare contemporaneamente alla muratura di più anelli; se invece il terreno è piuttosto mobile, l'attacco deve essere condotto in modo più raccolto, ma lavorando alla fronte onde mantenere il cavalletto estremo libero dal terreno che tende avanzare ed investirlo. Non occorre dire che, permettendolo la natura del terreno, si possono fare contemporaneamente le escavazioni IV e V, e diminuire così di una il numero delle fasi del lavoro. Talvolta si riuniscono anche in una sola le escavazioni VII ed VIII. Allora le fasi dell'escavazione succedono coll'ordine indicato dai numeri marcati sulla figura 54.

Il *sistema d'attacco in cunetta* fu per la prima volta applicato alla galleria Cristina, e fu proposto dal distinto Ingegnere Luigi Protche. Questo nuovo sistema consiste: nello scavare la sezione della galleria metà per volta, incominciando dalla parte inferiore; nell'eseguire la muratura dell'arco rovescio e dei piedritti prima di intraprendere lo scavo della parte superiore; nel riempire con materiali il vano fra i piedritti, lasciando solo un cunicolo nel mezzo colle dimensioni minime necessarie per l'avanzamento dell'attacco; venendo dopo all'escavazione della parte superiore; e facendo infine il vólto sopra i piedritti già preventivamente stati costrutti.

L'attacco è diviso in parti indipendenti, ed il più gran numero di fasi che esso presenta risulta dalla figura 55 nella quale ABCDE rappresenta la sezione retta dell'intera escavazione, e BD la linea d'imposta. S'incomincia colla piccola avanzata I, e quando questa è di qualche poco inoltrata si fanno le due escavazioni II. Dopo si fa l'escavazione III onde preparare il fondo che deve ricevere l'arco rovescio ed i piedritti, ed immediatamente si procede all'esecuzione di queste opere murali. Prese tutte le disposizioni occorrenti per sostenere il cielo dell'escavazione e per impedire le deformazioni della muratura, nella parte superiore della sezione si apre il cunicolo IV. S'ingrandisce dopo la sezione collo scavo V, e si compie la calotta coll'abbattere i due massi laterali VI. Finalmente coll'escavazione VII si scoprono i piedritti, per poi procedere alla costruzione del vólto. Le prime tre fasi dell'escavazione costituiscono il *periodo di cunetta*, e le altre quattro fasi il *periodo di ca-*

lotta. Talvolta si riuniscono le fasi V e VI (*Fig. 56*), e non di rado può convenire di fare lo scavo della calotta di quanto è necessario onde stabilire robuste centine per la costruzione del vólto, il quale si costruirà a poco a poco in escavazioni che successivamente si andranno facendo sopra l'estrados so delle dette armature, e che si manterranno aperte puntellando sulle armature stesse.

Talvolta l'escavazione in cunetta si modifica come segue: s'incomincia collo scavo del cunicolo I (*Fig. 57*); si abbassa dopo e si allarga questo scavo, come appare in II, di quanto è necessario per costruire l'arco rovescio; si fanno quindi gli allargamenti III; e si elevano i piedritti con un volto provvisorio che deve servire per mantenerli a posto mentre si scava la calotta e si costruisce il vólto.

In alcuni casi si affonda il cunicolo I fino alla base dell'arco rovescio, si fa subito la parte centrale di questo, si scava il terreno a dritta ed a sinistra per far luogo ai piedritti, e si procede alla loro costruzione.

20. Applicazione del sistema d'attacco in calotta. — Il metodo che si può seguire nell'applicare questo sistema entro terreni mobili è rappresentato nella tavola XIV, le cui figure, disegnate nella scala di 6 millimetri per ogni metro, rendono abbastanza ragione delle diverse fasi del lavoro mediante una sezione verticale longitudinale, una sezione orizzontale e cinque differenti sezioni trasversali.

La piccola avanzata si scava per una breve lunghezza e per quanto è necessario onde manovrare le armature; un'escavazione più profonda riescirebbe lavoro inutile nelle argille scagliose, e principalmente in quelle della terza varietà, giacchè dopo pochi giorni della sua apertura, a motivo delle enormi pressioni del terreno, si troverebbe il suo cielo abbassato, le armature dissestate, la sezione ristretta e la sua lunghezza considerevolmente ridotta. La figura 60 è una sezione prodotta dal piano verticale di traccia verticale AB (*Fig. 58*) e di traccia orizzontale CD (*Fig. 59*); e chiaramente appare dalle citate figure 58, 59 e 60 come sono foggiate i telai e come sono disposte le tavole pel sostegno del terreno nella piccola avanzata. La distanza a cui si pongono i telai della piccola avanzata varia generalmente fra metri 0,75 e metri 1,10.

Lo strozzetto ed i due allargamenti, per ottenere la totale escavazione della calotta, costituiscono un lavoro che nelle argille scagliose deve pure essere di assai limitata lunghezza. Per convenientemente opporsi alle enormi pressioni del terreno, importa che

quest'escavazione sia rivestita col vólto nel piú breve tempo possibile, e che quindi la sua lunghezza nel senso dell'asse della galleria si trovi limitata alla larghezza che vuolsi dare a ciascuno degli anelli murali. Questa larghezza si può fissare fra 4 e 6 metri, ritenendo che il limite inferiore conviene per le argille scagliose piú sconvolte, cui è applicabile il metodo del quale discorriamo, e che il limite superiore si può adottare nelle argille scagliose meno rimaneggiate. L'escavazione in calotta per far luogo alla costruzione di un anello non si può lasciare senza armatura, e generalmente si pongono in essa tre cavalletti a ventaglio, come chiaramente lo indicano le figure 58, 59 e 61, la qual ultima rappresenta una sezione trasversale prodotta dal piano di traccia verticale EF e di traccia orizzontale GH. Questi cavalletti sono generalmente costituiti da puntelli p in numero di dieci o di dodici, i quali sono rinforzati da uno o da due ordini di puntoni.

L'armatura da porsi nell'escavazione che deve ricevere un anello del vólto può essere costituita da un tavolato discontinuo sostenuto da longarine, le quali sono mantenute a sito dai puntelli del ventaglio. Se le tavole sono corte, si collocano normalmente alle longarine, se invece sono lunghe, si dispongono a croce di S. Andrea; nell'uno e nell'altro caso le tavole hanno appoggio colle loro estremità su due longarine successive. Le soglie s dei ventagli si possono formare con soli tavoloni. Le centine per la costruzione di un anello sono tante quanti soni i cavalletti a ventaglio, ossia tre. La prima di esse si trova in vicinanza della fronte dell'escavazione della calotta, e le altre due si trovano fra i tre cavalletti or indicati. Quando si costruisce un anello devono generalmente trovarsi ancora a posto due centine dell'anello precedente, e l'ultima di queste serve per dar appoggio alle tavole costituenti il manto dell'anello da costruirsi.

Nelle argille scagliose, e segnatamente in quelle della terza varietà, le escavazioni in calotta sono generalmente soggette a cangiar di forma, il loro cielo sovente si abbassa in parte per compressioni verificatesi nei legnami delle armature, e in parte per penetrazione dei piedi dei ventagli nel sottostante terreno, ed alcune volte si verificano anche restringimenti di sezione nel senso orizzontale. Prima di dar mano alla costruzione del vólto, questi fatti devono essere accertati e valutati, onde fare nel terreno i ritagli necessari per costruire il vólto stesso al suo posto e colle dimensioni richieste dalla destinazione della galleria.

La parte di vólto componente un anello si imposta su robusti tavoloni, e simmetricamente si eleva per rapporto al mezzo della galleria, togliendo di mano in mano, ed a misura che la vólta si eleva, i pezzi componenti i ventagli, le corrispondenti longarine, i grossi legnami che a guisa di puntoni vanno da una longarina all'altra, non che le tavole che servono di sostegno immediato delle terre. Non occorre dire che nella costruzione di ogni anello bisogna usare tutte le precauzioni per ben unirlo coll'anello precedente e che si devono lasciare dalla parte opposta, ossia verso l'avanzata, le opportune morse per collegarvi l'anello seguente.

Nelle argille scagliose molto rimaneggiate il vólto disarmato immancabilmente si abbassa, e sovente le pressioni laterali operano con tanta potenza da restringerne la sua apertura. L'abbassamento del vólto non ha da sè solo gravi conseguenze, finchè non giunge a tal punto da riuscire d'ostacolo al sicuro passaggio dei convogli; e, per porsi al riparo di ogni inconveniente, può bastare di porre le centine da metri 0,20 a 0,40 sopra il livello di progetto. Il restringimento invece, non potendo avvenire senza una rottura del vólto alla o presso la chiave, potrebbe portare a funeste conseguenze e quindi con ogni possa deve essere combattuto. Un procedimento stato adottato dal signor Ingegnere Lanino, e che ha dato buoni risultati consiste: nel disarmare gli anelli appena chiusi in chiave; nel lasciare in opera soltanto le due centine *a* e *b* (*Fig.* 58 e 59) presso le morse dell'ultimo anello costruito; e nel collocare a ritegno dei fianchi numerosi puntelli orizzontali disposti come appare dalle figure 58, 59, 62 e 63. Questi puntelli, operando quasi a modo di un arco rovescio, contribuiscono ad impedire, se non del tutto, almeno in parte, l'avvicinamento delle imposte del vólto. Durante il tempo necessario pel disarmo degli anelli e pel collocamento dei puntelli orizzontali, ed anche per la compressibilità dei legnami e della muratura in cui essi penetrano, è inevitabile un piccolo restringimento, sovente accompagnato da rottura alla chiave; ma il guasto si mantiene sempre in tali proporzioni da non poter porre incaglio al progresso normale del lavoro. La figura 62 è la sezione trasversale della galleria prodotta dal piano di traccia orizzontale LM, e di traccia verticale IK, dove si trova compiuto il vólto. Se si riconosce che i detti puntelli orizzontali sono insufficienti ad impedire le deformazioni apprezzabili del vólto, si può far uso del sistema d'armamento indicato nella figura 66.

Costrutto e convenientemente puntellato il vólto nel modo indicato

per una certa lunghezza, si passa alla costruzione dell'arco rovescio e dei piedritti. Perciò, sia aprendo prima il canale dello strozzo e quindi facendo alcune brecce per arrivare sotto le imposte, sia incominciando a scavare da una sol parte, di mano in mano che levasi terra sotto brevi tratte delle imposte stesse, si pongono ritti verticali, alcuni a sostegno dei puntelli orizzontali ed alcuni altri a sostegno delle tavole sottostanti al vólto, e si costruiscono i piedritti per parti lunghe presso a poco come i corrispondenti anelli del vólto medesimo, incominciando generalmente dal mezzo della galleria onde fare contemporaneamente l'arco rovescio ed il sovrastante piedritto. La figura 63 rappresenta la sezione trasversale della galleria secondo il piano di traccia orizzontale (*Fig.* 58 e 59) PQ e di traccia verticale NO, dove è fatto un piedritto e dove è apparecchiata l'escavazione per costruire l'altro opposto. La figura 64 è la sezione trasversale della galleria compiuta secondo il piano di traccia orizzontale (*Fig.* 58 e 59) T'U e di traccia verticale RS.

21. Deformazioni che generalmente si verificano nei vólti prima della costruzione dei piedritti e dell'arco rovescio, e riparazioni dei loro guasti. — Non ostante tutte le precauzioni a cui si è indicato nel precedente numero, quasi sempre avviene che, nell'intervallo di tempo durante il quale il vólto deve rimanere sull'argilla prima della costruzione dei suoi piedritti, si verificano in esso delle deformazioni, talvolta entro tali limiti da potersi recare qualche rimedio nelle condizioni del sistema; talvolta invece tanto gravi da doversi procedere alla demolizione della parte deformata. Il signor Ingegnere Lanino rilevò diversi profili della direttrice d'intradosso di alcuni anelli stati eseguiti applicando il sistema d'attacco in calotta, ed asserisce che nelle gallerie d'Ariano e Starza, dopo che il lavoro potè assumere andamento regolare, quasi costantemente si verificarono i seguenti fatti.

Essendo ABC (*Fig.* 65) la curva stata progettata come direttrice della superficie d'intradosso, essa finì per deformarsi e per spostarsi in modo da passare in A'B'C' con un totale abbassamento in chiave di metri 0,55 e con un restringimento fra le imposte di metri 0,63. L'abbassamento fu comune a tutto il vólto, e si concluse ch'esso era quasi indipendente dal restringimento, il quale manifestavasi appena chiuso il vólto e rapidamente cresceva finchè non trovavasi contrastato dai puntelli orizzontali; mentre l'abbassamento diveniva solo sensibile all'approssimarsi dello scavo dello strozzo. Il movimento di restringimento poi, quasi sempre era accompagnato da

queste circostanze, che le due metà della direttrice d'intradosso, prese separatamente, non risultavano sensibilmente deformate; nella muratura e presso la chiave del vólto apparivano screpolature più o meno profonde, e sfaldamenti più o meno estesi. Segue da ciò che era avvenuta rotazione alla chiave verso l'intradosso ed una pressione tanto grande sullo e presso lo spigolo di rotazione da provocare la rottura dei materiali. Nei casi in cui il terreno esercitava pressioni dissimetriche, cioè maggiori sull'uno che sull'altro fianco, la rottura dell'intradosso non si manifestava alla chiave, ma si verificava sul lato maggiormente premuto e per cui, in conseguenza, era più pronunziato il restringimento. Che anzi in questi casi avvenne anche il propagarsi obliquamente della rottura per tutta la grossezza del rivestimento, come è indicato nella figura 67.

Finchè i guasti provenienti dalle deformazioni degli anelli componenti il vólto si estendono solo ad una parte della loro grossezza, ed anche quando si estendono fino all'estradosso senza però propagarsi di molto a dritta ed a sinistra del giunto di chiave, insomma finchè i detti guasti stanno nei limiti indicati dalle figure 66 e 67, è possibile ripararli e porre i rivestimenti in buone condizioni di stabilità. Perciò, compiuti i piedritti e l'arco rovescio, prima di togliere gli ultimi puntelli orizzontali conviene procedere colle volute cautele alla demolizione di tutta la muratura che ha sofferto ed alla ricostruzione della medesima, avendo l'avvertenza che la muratura nuova si trovi bene immorsata colla vecchia, ed impiegando in questa delicata operazione malte cementizie della miglior qualità. Se i guasti sofferti dal vólto non si estendono al totale suo spessore, la riparazione può essere fatta come risulta dalla figura 68; ma se invece si riconosce che detti guasti si estendono dall'intradosso all'estradosso, si può procedere come appare dalle figure 69, 70 e 71. In questo genere di riparazioni i filari di pietra tagliata, disposti presso a poco come risulta dalle ultime due figure, possono riuscire di grande vantaggio e notevolmente influire sulla sicurezza dell'opera.

Molti sono gli anelli delle gallerie d'Ariano e Starza stati riparati come si è detto, e dopo parecchi anni di costruzione non hanno mai dato il benchè minimo indizio di ulteriori deformazioni e di nuovi guasti. In un anello compiuto, la rotazione del mezzo vólto non può avvenire senza che contemporaneamente si abbassi la sua imposta, e, non potendo questo abbassamento verificarsi per l'esistenza dei piedritti e dell'arco rovescio, trovasi impedita

la detta rotazione e quindi anche il concentramento di una grande pressione all'intradosso o presso la chiave del vólto.

Nelle gallerie d'Ariano e Starza molti furono i tratti i quali, costrutti col sistema in calotta, si dovettero in seguito riparare come precedentemente si è detto. Ed il volume delle ricostruzioni parziali del vólto risultò mediamente eguale alla sesta parte circa del suo volume totale.

22. Applicazione del sistema d'attacco in tutta sezione. —

Come si è detto nel numero 19, il sistema d'attacco in tutta sezione si applica col metodo inglese, oppure col metodo austriaco. Nei terreni molto mobili, quali generalmente sono le argille scagliose, l'adozione del metodo inglese può presentare serie difficoltà per opporsi alle spinte dirette verso il vano della galleria, difficoltà che riescono generalmente di minore importanza nel sistema austriaco; di maniera che di quest'ultimo soltanto si farà cenno ragionando sulle figure della tavola XVI, le quali sono disegnate nella scala di 6 millimetri per ogni metro. La figura 75 rappresenta una porzione della sezione longitudinale della galleria in corso di esecuzione colle diverse fasi del lavoro, e le figure 76, 77, 78 e 79 sono le sezioni trasversali rispettivamente definite dalle rette AB, CD, EF e GH.

Sistema d'attacco in tutta sezione con armatura austriaca. —

All'origine dell'escavazione si progredisce coll'avanzata inferiore, alla quale nelle argille scagliose non si può generalmente assegnare una grande lunghezza; mentre superiormente si va aprendo un cunicolo colla sua fronte d'attacco meno avanti di quella dell'avanzata inferiore. Queste due fasi dell'escavazione, colle relative armature, sono chiaramente rappresentate nelle figure 75 e 76. I telai che servono per armare l'escavazione inferiore sono definitivi, e provvisori quelli dell'escavazione superiore, ad eccezione dei pezzi orizzontali *a*, i quali sono destinati a servire da puntoni più alti delle armature complete. Si può ritenere che queste armature si pongono ordinariamente a distanze comprese fra metri 0,75 e metri 1,20.

Fatto questo, si affonda il cunicolo superiore, finchè si scopre il cappello dell'avanzata inferiore e si compone l'armatura definitiva centrale. I telai dell'avanzata si possono conservare, ma importa rinforzarli con contro-telai costituiti (*Fig. 77*) dai ritti *c* e dalle traverse orizzontali *e*, e rilegati dalle travi *b*. La parte superiore di

quest'armatura poi consta: delle longarine f e f' ; dei ritti r ; dei pezzi orizzontali g e g' ; dei rinforzi h ; dei pezzi inclinati i .

Si continua dopo ad allargare lo scavo e, man mano che questo succede, si mettono assieme i diversi legnami occorrenti per la composizione del cavalletto rappresentato nella figura 78. L'armatura pel sostegno delle terre consta di tavole orizzontalmente disposte fra un cavalletto ed il successivo. Queste tavole sono sostenute dai puntoni a , k e k' , i quali a loro volta hanno appoggio su longarine f , l ed l' . Per impedire che i puntoni k pieghino, si può far uso delle saette m . Le longarine l ed l' sono mantenute a posto dai pezzi n , o e p . Si fa notare come in questo sistema di armatura l'assito che sostiene le terre è sostenuto direttamente dai puntoni, mentre in quello rappresentato nelle figure 58 e 61 sono le longarine che sopportano le tavole poste contro le pareti dello scavo. La disposizione adottata nelle ultime citate figure caratterizza le armature belghe ed inglesi, mentre quella rappresentata nelle figure 75 e 78 caratterizza le armature austriache.

Fatto ed armato lo scavo per una certa lunghezza, si pongono le centine fra un cavalletto e l'altro, e si procede quindi alla costruzione del rivestimento incominciando dai piedritti e salendo fino al volto, come appare dalle figure 75, 78 e 79. Le centine possono avere appoggio: alle estremità, su puntelli, oppure su mensole o su risalti tratti dalla muratura; in punti intermedi della loro catena, sulle travi longitudinali b . L'arco rovescio costituisce la parte murale che vien fatta per l'ultima, giacchè si deve attendere di poter abbattere il quadro inferiore dei cavalletti e rimuovere le loro soglie. Quando si fa quest'operazione bisogna disfare il binario di servizio e sospendere il trasporto, con qualche svantaggio nella regolare condotta dei lavori.

I cavalletti per le armature dell'escavazione, a seconda delle vicende del lavoro, si possono o semplificare col sopprimere alcuni membri, o fortificare coll'aggiunta di puntelli sussidiari, senza alterare nè il tipo generale, nè l'ordine del lavoro. Anche le murature, occorrendone il bisogno, si possono facilmente puntellare contro le colonne dei quadri centrali, e le basi dei piedritti si possono mantenere ferme coll'aggiunta di sbadacchi nel vano dell'arco rovescio.

La parte di escavazione, che si lascia armata come risulta dalla figura 78, difficilmente è lunga più di 15 metri, che anzi nelle argille un po' rimaneggiate conviene che questa lunghezza sia dimi-

nuita e portata a non più di 11 metri. Il rivestimento si fa generalmente per anelli con lunghezza variabile da 3 a 4 metri.

Sistema d'attacco in tutta sezione con armatura inglese. — Il sistema d'attacco in tutta sezione può anche essere modificato, sostituendo all'armatura austriaca un'armatura inglese o belga per la parte che trovasi al di sopra del livello dell'imposta del vólto. Oltre l'armatura si può anche modificare il sistema d'escavazione nella sua parte inferiore, ponendo la soglia dell'avanzata di circa metri 1,60 sopra il piano sul quale devono trovare appoggio i piedritti e l'arco rovescio, e conducendo i lavori in modo che lo scavo dell'intera sezione e l'esecuzione del rivestimento risultino come è indicato nelle figure 80 ed 81. Questo modo di procedere, che non è quello più conveniente nelle argille scagliose molto sconvolte, si deve applicare con grandi cautele nel momento delle fondazioni dei piedritti, durante il quale il nucleo di terreno, su cui posano le soglie dei cavalletti, rimane isolato. Per non porsi al rischio di gravi inconvenienti, bisogna innanzi tutto eseguire lo scavo e la muratura di fondazione dei piedritti colla maggior celerità possibile; di più è necessario che le pressioni del terreno non eccedano certi limiti. Non occorre dire che gli scavi A (*Fig.* 80), per le fondazioni dei piedritti, si devono eseguire per piccole tratte ed a misura che i muratori sono pronti per riempirli con buona muratura da farsi con malta cementizia.

23. Deformazioni delle gallerie scavate in terreni mobili col sistema d'attacco in tutta sezione. — Nella galleria Cristina, dove il sistema d'attacco in tutta sezione fece cattiva prova, si verificarono nel terreno, nelle armature e nei rivestimenti murali movimenti così grandi e guasti così straordinari che nessuno avrebbe saputo immaginarsi. L'Ingegnere Lanino, parlando di questi disastrosi fatti, così si esprime: « Cappelli e soglie di rovere di 0^m,40 × 0^m,40 di sezione, colonne di 1^m,50 di circonferenza furono schiacciate e spezzate; i poligoni del cielo sconquassati, le catene dei cavalletti spinte avanti per più d'un metro, i puntelli rotti e posti fuori piombo, le soglie sollevate, tutto il sistema dell'armatura messo fuori d'azione; le murature del rivestimento aventi da 1^m,35 a 1^m,50 di grossezza già erano deformate, rotte, spostate e rese inservibili prima che si arrivasse a chiudere l'anello in chiave, e le centine stritolate dai movimenti delle murature. »

Nella galleria Starza, dove fu applicato il sistema in tutta sezione per riaprire un tratto di galleria attraverso le macerie di un tratto

preesistente, anche applicando il metodo di cui si fece cenno sul finire del numero precedente, si ottennero invece buoni risultati. Fu però osservato che, durante questa ricostruzione, il terreno oppose minori difficoltà che nella primitiva costruzione, lasciando così travedere come anche i terreni argillosi, compiuti i primi movimenti, trovino forse una nuova posizione d'equilibrio per la quale in una nuova escavazione non pesa più sulla galleria tutta la massa stata perturbata, ma sibbene la sola parte inferiore ad una superficie curva di carico che sembra essersi costituita.

Aggiungiamo ancora che, verificandosi alcune deformazioni nei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili state eseguite col sistema in tutta sezione, nella generalità dei casi sono esse tanto gravi che difficilmente si possono riparare; giacchè quasi sempre si estendono non solo a piccole parti, ma alle masse intiere dei rivestimenti, come appare dalla figura 82.

24. Applicazione del sistema d'attacco in cunetta. — *Attacco in cunetta costruendo il rivestimento con brevi anelli.* — Allorquando il terreno è di tale natura da potersi scavare la parte inferiore della galleria con un solo cunicolo centrale e con due ingrandimenti laterali senza che succedano immediati scoscendimenti, sono adottabili le disposizioni indicate nelle figure 83, 84, 85 e 86 disegnate nella scala di 6 millimetri per ogni metro e rappresentanti, la prima una porzione di sezione longitudinale, la seconda e la terza le sezioni trasversali prodotte dal piano AB quando è scavato il solo cunicolo centrale e quando sono anche eseguiti gli scavi per far luogo alla costruzione dei piedritti, e finalmente la quarta la sezione prodotta dal piano CD. L'attacco dell'avanzata o cunicolo inferiore si fa per lunghezze variabili da 2 a 3 metri con puntellamenti provvisori dove occorrono. Fatta questa parte dell'escavazione, si stabiliscono i cappelli *a* ed *a'* (Fig. 83 ed 84) sorreggendo il primo mediante due ritti verticali *b*, ed il secondo mediante quattro puntelli inclinati. Due di questi puntelli, ossia quelli indicati colla lettera *c*, vanno a fermarsi contro le estremità inferiori dei ritti *b*; e gli altri due, indicati colla lettera *c'*, appoggiano alla muratura dell'anello che precede la fatta escavazione. Sovente si pongono fra i cappelli le longarine *d*. Mediante tavoloni, con lunghezza eccedente di poco la distanza dei cappelli e posti a distanza più o meno grande secondo la minore o maggiore mobilità del terreno, si sostiene il cielo dell'escavazione.

Fatto questo, si procede alla costruzione della parte di mezzo E

dell'arco rovescio, si tolgono i ritti b ed i puntelli c e c' , e si pongono a sostegno dei cappelli a ed a' i ritti e (*Fig. 85*), cui serve di base la traversa f .

Scavando a dritta ed a sinistra, si fanno gli ingrandimenti necessari alla costruzione dei piedritti, e, per impedire gli scoscendimenti, si pongono i puntoni g col numero di tavoloni necessari a sostenere il cielo dello sterro, le longarine h ed i puntelli k . Si abbassa dopo l'escavazione e, occorrendo di sbadacchiare le due pareti laterali, si può raggiungere lo scopo coi legni l , colle longarine i e coi puntelli m . Fra i legni l ed il terreno si pongono quei tavoloni che all'atto pratico si giudicano necessari. Quando i movimenti del terreno non sono istantanei dopo l'escavazione, gli ultimi armamenti si possono tralasciare, purchè si proceda colla maggior possibile sollecitudine all'innalzamento dei piedritti.

Portati i piedritti all'altezza voluta, sono necessari i puntoni n (*Fig. 86*), i quali servono al doppio scopo di sostenere il cielo della cunetta e di impedire che la muratura si deformi sotto l'azione della spinta delle terre. Per raggiungere ancora meglio l'intento si riempiono generalmente con pietre, disposte a guisa di muro a secco, gli spazi che rimangono fra i piedritti, i ritti e ed i puntoni n .

Il lavoro in calotta, sempre quando colla celerità si possano prevenire i movimenti del terreno, si può fare come segue: si attacca lo scavo al centro coll'ampiezza necessaria per collocare una robusta centina alla distanza di circa metri 1,50 innanzi la morsa dell'ultimo anello murale costruito. Si abbassa quindi questo scavo centrale per scoprire i piedritti; si pongono alcune tavole del manto fra la centina collocata e quella che trovasi presso la morsa dell'anello precedente; ed immediatamente si costruiscono le due parti F (*Fig. 86*) del vólto. Fatto questo, si procede alle due escavazioni G puntellando il terreno dove occorre col far servire la centina H (*Fig. 83* ed *86*) ed anche, se è necessario, la muratura dell'ultimo anello come ritegno pei puntellamenti; colla maggior prontezza possibile si fa il rivestimento in queste escavazioni, e quindi si procede all'abbattimento del masso centrale I , sbadacchiando le pareti dello scavo dove è necessario. Nel vano così aperto immediatamente si costruisce il vólto onde chiudere l'anello corrispondente all'intervallo fra le due centine K ed H .

Il metodo che abbiamo descritto per applicare il sistema d'attacco in cunetta fu, con qualche lieve modificazione, adottato nella galleria Cristina. I risultati che si ottennero furono tali da non scon-

sigliarne in alcuni casi la sua adozione, quantunque la poca lunghezza degli anelli componenti il vólto conduca in ultima analisi a rivestimenti con superficie d'intradosso un po' irregolari. L'esperienza ha dimostrato che i rivestimenti delle gallerie in terreni mobili, costrutte col metodo precedentemente descritto, risultano alquanto deformate, ma non mai così guaste da esserne necessaria la ricostruzione.

Metodo ordinario per l'applicazione del sistema d'attacco in cunetta. — Un procedimento più regolare di quello precedentemente descritto, per l'attacco delle gallerie in terreni mobili col sistema in cunetta, è quello che passiamo ad indicare, il quale trovasi rappresentato, nella scala di 6 millimetri per ogni metro, nelle figure 87, 88, 89, 90, 91 e 92. L'attacco più avanzato del cunicolo inferiore è rappresentato in sezione longitudinale nella figura 87, ed in sezione trasversale secondo LM nella figura 88. Questo cunicolo comprende quasi tutta l'altezza dall'intradosso dell'arco rovescio all'imposta del vólto, ed è per suo mezzo che s'introducono le prime longarine centrali o (*Fig.* 88), le quali per un'estremità appoggiano all'ultimo quadro od intelaiatura della corsa dell'anello che precede, mentre all'altra estremità e nel mezzo sono sostenute da quadri in cui sono provvisori i ritti p e le soglie q .

Preparata questa prima apertura, si procede a scavare a dritta ed a sinistra della medesima per far posto ai piedritti. Immediatamente, come lo dimostra la figura 90 che rappresenta una sezione trasversale secondo la retta PQ, si collocano le longarine laterali ed orizzontali r (*Fig.* 90), e sotto altre t pure orizzontali, che fanno contrasto fra la muratura precedente e la fronte dello scavo. Queste ultime longarine, mentre si oppongono alle spinte delle terre nel senso dell'asse dell'escavazione, servono anche d'appoggio a certi puntelli per sostenere le longarine superiori. Le longarine superiori divengono così solidarie colle inferiori ed il loro complesso funziona quasi a guisa di trave armata. Allargato lo scavo fino all'estradosso dei piedritti, conviene pensare al suo affondamento per raggiungere l'estradosso dell'arco rovescio. Perciò si scava all'estremità del cunicolo ed ai piedi della fronte onde porre due soglie, una u (*Fig.* 89 e 90) per servire d'appoggio ai puntelli v del cappello estremo s sottostante alle longarine centrali o , l'altra x per ricevere i puntelli inclinati y a sostegno del cappello intermedio z . Dalla parte opposta si collocano contemporaneamente altri puntelli inclinati α coi loro piedi contro la muratura, e per tal modo il cappello ε trovasi so-

stenuto da un'armatura alla foggia di capra, la quale lascia libertà di scavare il terreno e di murare l'arco rovescio. Le longarine laterali r (*Fig.* 90) si consolidano con altri puntelli disposti in modo da essere verticali o quasi verticali quelli β situati alle estremità verso terra, inclinati invece gli altri destinati a sostenere le stesse longarine nel loro mezzo. Per opporsi poi all'avanzamento della fronte dello scavo, conviene generalmente porre la soglia superiore γ (*Fig.* 89 e 90), e contro di essa i puntelli δ , λ ed ε .

Armato così l'intero scavo della cunetta, si procede all'esecuzione della muratura. S'incomincia questa costruendo la parte centrale dell'arco rovescio; e, dopo aver così murato per una lunghezza di circa 3 metri, prima di proseguire l'operazione, si tolgono i gambi dell'armatura a capra, ed immediatamente vi si sostituiscono due quadri stabili con ritti e soglia, foggiate come si vede nella figura 91. Questi quadri servono a tre scopi: per sostenere il cielo della cunetta; per mantenere a posto la muratura eseguita; e per conservare aperta una corsia la quale deve servire alla continuazione dell'attacco inferiore. Fatto questo, si continua la muratura dell'arco rovescio per elevare i piedritti fin sotto le longarine laterali, e, nel far questo, si ha l'avvertenza di convenientemente ritagliare il terreno quando per compressioni avvenute nelle armature siasi ristretta l'escavazione. Man mano che la muratura va elevandosi, bisogna togliere i puntelli delle longarine che si trovano a sostegno del cielo della cunetta, e, verificandosi qualche indizio di scoscendimenti, è necessario disporre alcuni puntelli che hanno appoggio sulla muratura già eseguita. Appena ultimato l'arco rovescio ed i piedritti, bisogna provvedere perchè le murature non si muovano, e si può raggiungere l'intento col riempire di pietrame (*Fig.* 92) lo spazio fra i piedritti ed i quadri centrali stabili di cui già si è fatto cenno. Per dare maggior stabilità alla corsia centrale conviene intercalare altri due quadri a quelli già esistenti. La larghezza media libera di questa corsia varia generalmente da metri 1,25 a metri 1,50; e la sua altezza originaria suol generalmente essere di metri 2,20. Difficilmente però si possono conservare queste dimensioni e soprattutto l'altezza, la quale, sotto l'azione comprimente delle terre, notevolmente si riduce.

Passiamo ora a descrivere il modo di condurre il lavoro nel secondo periodo. I metodi d'escavazione non sono differenti da quelli che si seguono applicando il sistema d'attacco in calotta stato descritto nel numero 20; e le armature a ventaglio, destinate a so-

stenere il cielo dell'intera escavazione, hanno le loro soglie sulle longarine sottostanti che già servirono pel sostegno del cielo della cunetta. Le stesse longarine servono pure a sostenere le centine occorrenti per la costruzione del vólto, il quale generalmente si fa per anelli lunghi circa 3 metri.

Ponendo le soglie delle armature a ventaglio direttamente sulle longarine poste o sostegno del cielo della cunetta, avviene che la lunghezza troppo grande dei pezzi centrali notevolmente scema la resistenza delle armature stesse, di modo che può convenire di lasciare fra le soglie e le longarine suddette uno strato di terra alto circa 1 metro, e di realizzare così nell'escavazione la fase VII indicata dalle figure 55, 56 e 57. Quando si vuol adottare questa disposizione, una volta poste le armature a ventaglio destinate a sostenere il cielo dell'escavazione dove vuolsi costruire un anello del vólto, s'incomincia a scavare a dritta ed a sinistra l'indicato strato di terreno onde scoprire i piedritti per la loro grossezza, e tosto si costruisce la corrispondente parte di rivestimento. Portati i piedritti fino al livello del fondo dell'escavazione in calotta, si pongono le centine per la costruzione del vólto seguendo gli ordinari metodi.

I due attacchi in cunetta ed in calotta sono, rispetto all'ordine del lavoro, indipendenti l'uno dall'altro. Nei terreni molto mobili però, e principalmente nelle argille scagliose della terza varietà, conviene fare in modo che l'attacco superiore segua, a distanza di non più di due o tre anelli, l'attacco inferiore; perchè altrimenti, sotto le enormi pressioni del terreno, la corsia della cunetta può abbassarsi di tanto da ridurre l'altezza libera a meno del necessario pel servizio, sia per l'infiattersi dei cappelli, sia per l'inclinarsi dei ritti in avanti.

Metodo d'attacco in cunetta con arco rovescio. — Allorquando le difficoltà presentate dal terreno, tanto per rapporto allo scavo, quanto per rapporto alle pressioni prodotte sulle armature e sui rivestimenti, sono tanto gravi da riescire incerto l'esito dell'applicazione dei metodi in cunetta precedentemente descritti, si può ricorrere al metodo di eseguire un arco provvisorio in muratura tra i piedritti, conducendo il lavoro nel modo espresso dalle figure 93, 94, 95, 96, 97 e 98, le quali sono tutte disegnate nella scala di 6 millimetri per ogni metro.

L'escavazione della cunetta s'incomincia con un cunicolo, quale in sezione trasversale appare dalla figura 93, avente lunghezza di circa 3 metri. Il cielo di questo cunicolo si sostiene con quattro

longarine *a* le quali per un estremo hanno appoggio sull'arco provvisorio già costruito, mentre per l'altro estremo ed in uno o due punti intermedi sono sostenute da cappelli portati da quattro ritti aventi la loro estremità inferiore sopra una soglia comune.

Fatto questo, bisogna abbassare ed allargare lo scavo di quanto è necessario per la costruzione dell'arco rovescio. Perciò, come risulta dalle figure 94 e 95, la seconda delle quali rappresenta la sezione trasversale determinata dalla retta AB, man mano che la escavazione va allargandosi ed abbassandosi si levano le armature del cunicolo e vi si sostituiscono i capelli *b* sorreggendoli coi puntelli inclinati *c*, *d* ed *e*. Contro la fronte dello scavo si pongono i fusti orizzontali *f*, *g* ed *h*, il primo dei quali serve da soglia per ricevere i puntelli inclinati *i* che sostengono all'estremità le longarine *a*. L'ultimo dei tre cappelli *b*, ossia quello che trovasi presso la fronte dello scavo, non è sostenuto dai soli puntelli *e*, ma anche da altri due *h*, ai quali serve da soglia il fusto *l* addossato al fusto *f*. Fra la muratura, che precede l'escavazione di cui qui si tratta, ed i fusti orizzontali *l*, *g* ed *h* si pongono gli sbadacchi *m*, *n* e *p*, non che il puntello *q*. Travi trasversali, come *r* ed *s*, servono ad impedire gli scoscendimenti laterali del terreno. Così preparata ed armata l'escavazione, si procede alla costruzione dell'arco rovescio; si tolgono gli sbadacchi *p*; e sovente, fra il terreno e le due facce inclinate che lo terminano, si pongono dei piccoli puntelli.

Costrutto l'arco rovescio, si colloca alla sua estremità una soglia che deve servire di base per puntellare l'ultimo dei tre cappelli *b*. Questa soglia, come risulta dalle figure 96 e 97, l'ultima delle quali rappresenta la sezione trasversale corrispondente alla retta CD, si vede in *t*; e sono i due ritti *u* quelli che servono a puntellare l'ultimo dei tre cappelli *b*. Dopo di ciò si possono togliere i puntelli *e* (*Fig.* 94 e 95), i quali imbarazzerebbero per collocare le centine occorrenti alla costruzione dell'arco rovescio. Per ciascun anello dell'arco provvisorio si possono adottare due centine *v* ed *x* (*Fig.* 96 e 97) oltre quella estrema dell'ultimo anello costruito, e ciascuna di esse si può comporre con un quadro centrale e con due dimode sui fianchi. I quadri si mettono in opera prima di allargare lo scavo, che anzi se ne trae partito per puntellare i cappelli superiori, e principalmente quello di mezzo dei tre cappelli *b*.

Vien dopo l'ingrandimento dello scavo di quanto occorre per far posto alla costruzione dei piedritti. S'incomincia perciò coll'allargare a dritta ed a sinistra per mettere i due ritti *y* (*Fig.* 97) a

sostegno delle longarine z ; e quindi si continua l'allargamento di quanto è necessario per elevare i piedritti, armando le pareti dello scavo coi puntelli α , β , γ e colle longarine δ e λ . Le longarine λ si possono collocare al livello dei fusti trasversali s . Fatto l'allargamento e la sua armatura, si procede alla costruzione dei piedritti e dell'arco provvisorio nel modo indicato dalla figura 98, la quale rappresenta una sezione trasversale secondo la retta EF (*Fig.* 96). La grossezza di quest'arco alla chiave può variare da metri 0,75 a metri 1,20, e l'altezza libera della corsia fra quest'arco e l'arco rovescio può esser da metri 2,20 a metri 2,40.

Il periodo di calotta si può condurre a termine colle norme generali già state esposte, ma coll'avvertenza che l'attacco superiore dev'essere mantenuto abbastanza allontanato dall'attacco inferiore, sia per dar tempo all'arco provvisorio di ben consolidarsi, sia per ottenere che i movimenti del terreno, a motivo dello scavo inferiore, non vengano a combinarsi con quelli causati dallo scavo superiore.

25. Deformazioni delle gallerie scavate in terreni mobili col sistema d'attacco in cunetta. — Questo sistema è quello che meglio prestasi a rendere minime le deformazioni che generalmente subiscono i rivestimenti delle gallerie scavate in terreni mobili. I piedritti, sia che si puntellino con legnami e con riempimenti di pietra, sia che si rinforzino con un arco provvisorio, si trovano posti in tali condizioni che difficilmente possono muoversi dopo il compimento del lavoro in cunetta; ed il vólto, essendo direttamente impostato sui piedritti e quindi su una base stabile, è ben lungi dal trovarsi nelle cattive condizioni in cui trovasi il vólto costruito col sistema d'attacco in calotta. Ad ogni modo, venendo al completo disarmo di alcuni anelli del rivestimento, può darsi che sotto le azioni potenti delle spinte delle terre si manifestino in essi alcune avarie del genere di quelle state descritte nel numero 21, avarie le quali, finchè si estendono solo ad una parte della grossezza dei rivestimenti stessi od anche fino all'estradosso, senza però propagarsi di molto a dritta ed a sinistra del giunto di chiave, si potranno generalmente riparare colle norme che nel citato numero vennero indicate.

I guasti, che possono avvenire in un rivestimento di galleria stata aperta col sistema d'attacco in cunetta, hanno generalmente per effetto di restringere la sua sezione interna, e bisogna ben accertarsi se questi restringimenti non sono così grandi da rendere la galleria disadatta alla sua destinazione.

26. Convenienza relativa dei tre metodi d'attacco in calotta, in tutta sezione ed in cunetta. — Questa convenienza relativa può essere desunta da considerazioni di due differenti ordini: dalla maggiore o minore facilità che l'applicazione dei tre metodi presenta nello scavo; dalla facoltà che essi hanno di opporsi, più o meno potentemente, alle deformazioni dei rivestimenti.

Sotto il punto di vista della maggiore o minore difficoltà di scavo, i due sistemi in calotta ed in tutta sezione, nei quali l'attacco sviluppasi successivamente dall'alto al basso e quindi colle disposizioni naturali e più utili di ogni sterro, sono evidentemente preferibili a quello in cunetta. Il sistema d'attacco in tutta sezione, che in generale si deve riputare come il migliore nei terreni di rocca da mina, giacchè permette di dividere lo scavo soltanto in due parti, una superiore per la calotta e l'altra inferiore per giungere fino al suolo della galleria, e che presenta il vantaggio di lasciar lavorare in modo continuo i muratori quando si mantenga il loro cantiere al sicuro dalle mine, fa ad un dipresso concorrenza col sistema d'attacco in calotta nei terreni di facile sterro e che esigono puntellamenti in piccola misura. In questi casi, quando credasi conveniente di applicare il sistema in calotta, conviene generalmente compiere questa per una grande lunghezza della galleria prima di dar mano allo strozzo. Quest'ultimo sistema poi senza esitazione si deve preferire a quello in tutta sezione nei terreni che, senza sviluppare forti pressioni, esigono un'armatura continua ed una puntellazione sistematica, come avviene nelle arenarie debolmente concrezionate, nelle stratificazioni sottili di argilla e di roccia alternate, e simili. L'armamento dello scavo può essere limitato soltanto alla parte superiore della sezione, giacchè in generale assai facilmente si può eseguire la parte inferiore della galleria sotto la protezione del rivestimento della parte superiore.

Quando la scelta del sistema d'esecuzione di una galleria non è unicamente subordinata a considerazioni di facilità d'escavo, di risparmio di legnami e di semplicità nelle manovre, ma sibbene alle eccezionali condizioni del terreno, come sono quelle che generalmente s'incontrano nelle argille scagliose, si deve preferire quello degli espostisistemi che permette di compiere e di chiudere gli anelli di rivestimento senza od almeno colle minori possibili avarie nelle murature.

Nel sistema d'attacco in calotta, per quanta cura si ponga per far celeremente progredire l'avanzamento dell'attacco inferiore, pure i vólti dovranno rimanere per un certo tempo, per un mese almeno,

sul terreno senza l'appoggio dei piedritti. In quest'intervallo, se le pressioni del terreno non sono molto grandi, col dare ai vólti una conveniente grossezza si può ottenere che i due fianchi rotino intorno alla chiave senza deformarsi, e col porre un complesso di robusti sbadacchi fra le imposte si può contenere il movimento di rotazione entrò limiti per cui le rotture alla chiave non si estendano molto e riescano facilmente riparabili. In tali condizioni il lavoro si potrà ancora condurre con un andamento regolare e trovare un certo compenso tra gli inconvenienti dei guasti e delle riparazioni, ed i vantaggi che il sistema presenta nell'escavazione e nelle armature. Ma, se le pressioni del terreno eccedono un certo grado, riesce impossibile salvare il vólto dalla totale ruina e, tutto al più, potrà esso servire da armatura provvisoria per la costruzione della parte inferiore della galleria.

Il sistema d'attacco in tutta sezione, finchè trattasi di operare in terreni presentanti difficoltà mediocri, può talvolta sostituire con qualche vantaggio quello in calotta. Ma nelle argille scagliose molto rimaneggiate, e principalmente in quelle della terza varietà, l'apertura dello scavo in grande sezione può dar luogo a movimenti ed a pressioni tali da compromettere la riuscita della costruzione. Si deve ancora aggiungere, in seguito ai fatti verificatisi nella galleria Cristina, che l'armatura austriaca, la quale è perfettamente composta per resistere a pressioni operanti simmetricamente nei piani dei cavalletti, viene facilmente dissestata quando le pressioni sono dissimetriche ed oblique ai piani stessi. Il solo avvicinamento dei cavalletti può in parte opporsi a quest'inconveniente, ed un tale ripiego fu appunto usato nelle gallerie del Semmering, dove, essendosi in alcuni anelli avvicinati i cavalletti fino a toccarsi, si dovette intagliare le armature per collocare le centine. Questo ripiego però è per se stesso un grave inconveniente; si può usare per piccole parti di galleria quando si presentino difficoltà imprevedute ed eccezionali, ma evidentemente non si può pretendere di adottarlo come processo ordinario. Aggiungasi ancora che, se in una massa di legname così grande avvenisse, per un'enorme spinta proveniente dalla fronte d'attacco, un movimento molto pronunziato verso l'interno, riuscirebbe impossibile proseguire la costruzione. Un grave difetto poi che, ben a ragione, si rimprovera al sistema d'attacco in tutta sezione col metodo austriaco consiste nel ritardo della costruzione dell'arco rovescio, il quale per ciascun anello non può essere costruito che dopo la demolizione delle armature, ossia

dopo chiuso in chiave l'anello successivo. Nel tempo in cui un anello rimane senza il corrispondente sott'arco, il terreno può alzarsi e muoversi i piedritti l'uno verso l'altro, analogamente a quanto avviene nel vólto delle gallerie aperte col sistema in calotta, giacchè non sono quasi differenti le condizioni d'equilibrio di un rivestimento composto di vólto e piedritti e mancante d'arco rovescio da quelle d'una calotta appoggiata sul terreno. Soltanto compiendo l'anello per mezzo dell'arco rovescio, si possono efficacemente impedire i movimenti che in esso possono indurre le grandi pressioni del terreno.

Il sistema d'attacco in cunetta è sicuramente, per quanto si riferisce all'escavazione, assai più costoso degli altri, e per questa ragione non si può annoverare fra i sistemi generali di costruzione delle gallerie; ma soltanto come un metodo speciale che conviene applicare nei terreni producenti pressioni eccezionali, come sono le argille scagliose della terza varietà. In questi terreni il sistema di attacco in cunetta presenta i seguenti segnalati vantaggi: che, procedendo lo scavo con aperture di limitate dimensioni, non possono verificarsi pressioni tanto grandi quanto sono quelle che avvengono collo scavo dell'intera sezione; che, facendosi l'arco rovescio pel primo, s'incomincia a stabilire per ciascun anello la base del complesso dei piedritti e del vólto; che il riempimento della mezza sezione inferiore serve assai bene per impedire i movimenti delle prime murature state eseguite ed a contrastare l'avanzarsi della fronte; che, mediante l'arco provvisorio, si evitano del tutto od in gran parte le serie difficoltà che generalmente si presentano negli incontri della galleria coi pozzi ad essa insistenti e nelle crociere della galleria principale colle gallerie trasversali. Tutti questi vantaggi conducono ad evitare guasti troppo gravi delle murature ed a risparmiare ricostruzioni delle medesime; cosicchè, in ultima analisi, il maggior costo dell'escavazione trovasi compensato da minori opere murali e, quel che più monta, dal conseguimento di un'opera posta in eccellenti condizioni di stabilità.

Riassumendo in ordine alla scelta di quello dei tre sistemi d'attacco stati indicati, che in ogni caso particolare conviene seguire, nulla si può stabilire di assoluto, e, attenendoci letteralmente al consiglio che dà il distinto signor Ingegnere Lanino, diremo: « Sarebbe difficile precisare il limite in cui il cambiamento di metodo può essere vantaggioso. Avviene qui come in ogni azione umana, che il miglior sistema è quello di non essere sistematici.

Prendendo norma dal complesso delle svariate circostanze del lavoro, l'ingegnere non tarderà a trovare la soluzione più conveniente, quando non dimentichi che in condizioni simili a quelle della galleria Cristina la questione predominante è quella di riuscire. »

27. Esecuzione delle gallerie nelle sabbie bollenti. — Come già si è fatto notare nel numero 6, le acque che sgorgano dalle pareti degli scavi costituiscono la causa della grande mobilità delle sabbie, dette bollenti; cosicchè, trovato il mezzo di dar sfogo a queste acque mediante un cunicolo aperto sul fondo dell'escavazione, il lavoro della perforazione di una galleria non può a meno di riuscire grandemente facilitato per doversi operare entro sabbie che, mediante armature e puntellamenti, è possibile mantenere a posto. I metodi d'esecuzione delle gallerie entro sabbie bollenti possono essere quelli stessi già stati indicati nei numeri precedenti, quando nell'applicarli si abbiano le seguenti avvertenze generali:

1° Di mantenere continuamente aperto sul fondo dell'escavazione più avanzata e nelle altre che la seguono un cunicolo o canale di scolo, colle pareti formate di tavole orizzontalmente disposte, tenute alla voluta distanza da appositi sbadacchi, e tali che, mentre permettono lo scolo delle acque, servano a contenere le dilatazioni laterali delle sabbie;

2° D'intraprendere gli scavi per piccole lunghezze e di armarli immediatamente, ponendo fra le armature ed il terreno tavole sufficientemente avvicinate, e facendo anche uso di paglia interposta alle tavole ed alle sabbie, dove si manifesta maggiore il pericolo di scoscendimento;

3° Di procedere alla costruzione del rivestimento per anelli, e di combinare le cose in modo che, tanto le acque, le quali arrivano dal cunicolo dell'avanzata, quanto quelle che si portano contro l'estradosso del rivestimento, trovino facile e pronto sfogo.

Relativamente al modo di dar scolo alle acque che si raccolgono in galleria e particolarmente nell'avanzata, bisogna distinguere se si tratta di un attacco per un'estremità, o di un attacco mediante una galleria trasversale di servizio, o di un attacco mediante un pozzo.

Nel primo caso, se il terreno discende dalla fronte d'attacco alla bocca della galleria, basta fare in modo che il cunicolo dell'avanzata sia continuato nelle diverse tratte dell'escavazione per congiungersi col definitivo canale di scolo, dove il rivestimento trovasi ultimato. Avendo i cunicoli entro terra ed il canale definitivo una

caduta dalla fronte d'attacco alla bocca della galleria, l'acqua sarà naturalmente portata all'esterno senza preparativi speciali. — Che se il terreno monta dalla detta fronte all'imbocco, convien dare al cunicolo tale inclinazione da riversare le acque in apposito bacino, che si manterrà ad una certa distanza dalla fronte d'attacco, e generalmente presso il sito in cui termina il rivestimento murale. Per estrarre le acque da questo bacino si può far uso di un sifone allorquando a breve distanza dalla bocca della galleria vi è un punto in cui riesce possibile riversarle, oppure si possono sollevare ed incamminare a uscire dalla galleria mediante qualche macchina idrovora ed apposito condotto di scarico.

Nel secondo caso, ossia quando trattasi di attacchi a cui si arriva mediante una galleria trasversale, generalmente si procura di dare a questa una certa discesa verso l'esterno, sia per facilitare lo scarico degli sterri, sia per assicurare un facile scolo delle acque. Per incamminare poi alla galleria trasversale le acque che si presentano nelle avanzate, servono ripieghi analoghi a quelli già stati accennati; e quasi sempre basta quello di far in modo che il cunicolo di scolo conservi nell'escavazione della galleria principale una piccola discesa dalle fronti d'attacco all'origine della galleria trasversale. Questa disposizione, che naturalmente emana quando si discende dalla fronte d'attacco all'incontro della galleria trasversale colla galleria principale, generalmente si può anche realizzare nel caso inverso, ossia quando si sale, giacchè, essendo sempre relativamente piccola la distanza dell'indicato incontro dalla fronte di attacco, si può fare in modo che il cunicolo di scolo abbia la pendenza conveniente col dargli maggior profondità venendo da questa a quello.

Nel terzo caso, ossia quando è quistione di due attacchi che si raggiungono mediante un pozzo, serve il ripiego di affondare quest'ultimo al di sotto del suolo delle escavazioni che si fanno a dritta ed a sinistra per aprire la galleria; di mantenere due cunicoli, uno per ciascuna fronte d'attacco, con conveniente pendenza verso il bacino appositamente praticato al fondo del pozzo; e di sollevare, mediante pompe, le acque che man mano vi si raccolgono.

Premesse queste generali avvertenze, crediamo conveniente di far osservare che fra i diversi sistemi d'attacco delle gallerie entro sabbie bollenti, ci sembra conveniente di applicarne uno che si può dire una combinazione dei due in calotta ed in cunetta, e che minutamente passiamo a descrivere giovandoci delle figure 100,

101, 102, 103 e 104, rappresentanti rispettivamente, nella scala di 6 millimetri per metro, una porzione della sezione longitudinale e quattro sezioni trasversali secondo le rette AB, CD, EF e GH.

Per raggiungere l'intento di prosciugare, se non del tutto, almeno in parte la sabbia da scavarsi, e privarla così dell'elemento che la rende mobile, conviene aprire un cunicolo ossia un'avanzata inferiore, avente il suo suolo al livello o poco sopra la superficie di posa dell'arco rovescio. Quest'avanzata si armerà mediante telai posti a distanza non maggiore di 1 metro, e formati (*Fig.* 100 e 101) di una soglia *a*, di due ritti *b* e di un cappello *c*. Tanto il cielo, quanto i due fianchi di quest'escavazione, si rivestiranno di tavole non perfettamente avvicinate nei giunti, affinchè per questi possa passare l'acqua da cui la massa di sabbia trovasi attraversata. Una traversa *d*, da porsi a tale distanza dalla soglia *a* da non essere raggiunta dall'acqua che, quasi in un canale, si raccoglie sul fondo dell'avanzata, è destinata a sopportare un tavolato per andare alla estremità dell'avanzata. La larghezza interna di questo cunicolo si può, nelle ordinarie circostanze, assumere da metri 1 a metri 1,25; e la sua altezza dalla traversa *d* al cappello *c* da 1,80 a 2 metri.

Una volta aperto per una certa lunghezza il detto cunicolo, e facilitato il deflusso dell'acqua che in esso si raccoglie, si verifica generalmente che il terreno, il quale lo circonda nell'alto e nei fianchi, notevolmente rimane prosciugato e perde della primitiva estrema mobilità. Per questi motivi, le escavazioni da farsi dopo il cunicolo inferiore non possono presentare serie difficoltà, e quindi la galleria può essere condotta a termine col più comodo dei tre sistemi d'attacco, già stati indicati nel precedenti numeri, ossia col sistema belga. La figura 101, la quale rappresenta la sezione trasversale che nella figura 100 è definita della retta AB, mette in evidenza come l'attacco in calotta si può fare incominciando con un'avanzata superiore il cui cielo raggiunga l'estradosso del vólto, avente larghezza libera da metri 1 a metri 1,25, ed altezza interna fra metri 1,80 e metri 2. Per sostenere il tavolato, di cui generalmente deve essere rivestito il cielo dell'escavazione, si può usare di due longarine *e*, le quali hanno appoggio sui cappelli *f* dei telai da impiegarsi per mantenere aperta l'avanzata di cui discorriamo. Questi telai constano di soglia *g* e di ritti *h*, contro i quali hanno appoggio le tavole che possono occorrere per impedire le laterali dilatazioni, e si pongono generalmente a distanza di circa 1 metro. Per raccogliere le acque che, non ostante l'esistenza del cunicolo

inferiore, possono presentarsi nell'avanzata superiore, conviene generalmente mantenere aperto sul fondo di questa un piccolo canale colle sponde di tavole mantenute alla voluta distanza da corti sbadacchi.

Trovandosi l'avanzata superiore di qualche poco inoltrata, si dà opra per abbattere lo strozzetto e l'escavazione che risulta, come appare dalla figura 102, la quale è la sezione retta definita dalla retta CD (*Fig.* 100), viene armata col lasciare al loro posto le longarine *e* ed i cappelli *f*, e col sostenere questi mediante i puntelli *z* stabiliti sulla soglia *h*, destinata a ricevere tutti i pezzi radiali dell'armatura a ventaglio.

Fatta una determinata parte dello strozzetto, generalmente colla lunghezza di circa 3 metri, si procede ad ingrandire, scavando a dritta ed a sinistra per aprire l'intiera calotta. Man mano che l'escavazione si va allargando, si mettono le tavole occorrenti per impedire gli scoscendimenti del terreno, le longarine *l* ed i corrispondenti pezzi *m* dell'armatura a ventaglio. Occorrendo di dar scolo ad acque che si presentano nello scavo in calotta, conviene generalmente dar sfogo ad esse mediante un piccolo canale posto su un fianco, giacchè con questo spediente riesce più facile immetterle nel canale che si trova nel basso dell'escavazione senza che apportino ingombro al servizio dell'avanzata inferiore.

La lunghezza della parte di galleria scavata in calotta è generalmente quella che si vuol dare ad un anello del vólto, e sta fra l'anello murale ultimo costruito e l'origine dell'avanzata. Ponendo tre centine in questa lunghezza e traendo partito dall'ultima centina che servì per la costruzione dell'anello or ora indicato, s'incomincia il vólto impostandolo sopra tavoloni, e man mano che esso va innalzandosi si tolgono i puntelli delle armature. Questa fase del lavoro è rappresentata nelle figure 100 e 103, l'ultima delle quali rappresenta la sezione trasversale definita dalla retta EF.

Allorquando, in grazia dell'avanzata inferiore, il terreno in cui deve essere aperta la calotta si presenta tanto fermo da poter essere sicuri dell'efficacia delle armature, invece di far succedere l'una all'altra le quattro fasi di abbattimento dello strozzetto, d'ingrandimento, di posa delle centine e di costruzione del vólto, si può procedere assai più celeremente e con minore spesa, mantenendo a conveniente distanza quattro differenti cantieri. In ciascuno di questi lavora una squadra di operai per conto proprio, e così l'opera contemporaneamente progredisce in diversi punti.

Trovandosi il vólto impostato sopra terreno sabbioso, e quindi sopra terreno incompressibile, il quale, per l'esistenza dell'avanzata inferiore e per l'escavazione in calotta, si è per di più reso asciutto, non succedono in esso quegli abbassamenti verticali di cui si è fatto cenno nel numero 21. Gli spostamenti nel senso orizzontale poi non possono essere che di poca o nessuna importanza, giacchè le spinte operanti sulle due metà del rivestimento si mantengono fra determinati limiti, e non sono punto paragonabili con quelle prodotte dai terreni argillosi. Segue da ciò che, senza tema d'inconvenienti, si può lasciare il vólto impostato sul terreno per qualche tempo senza puntellamenti, e, solo in via di precauzione, si possono disporre (come risulta dalle figure 100 e 104, la seconda delle quali rappresenta la sezione trasversale in corrispondenza della retta GH) alcuni sbadacchi orizzontali n , non molto avvicinati, e generalmente a quella distanza che si reputa necessaria per sostenere il tavolato onde dar accesso ai diversi cantieri del lavoro in galleria.

Costrutto il vólto per una certa lunghezza, a poco a poco si abbatte lo strozzo, si fanno le breccie per andare sotto le imposte, e, operando ad un dipresso come si è detto nel numero 20, si passa alla costruzione dei piedritti, procedendo per anelli ed incominciando generalmente ciascun anello dalla metà dell'arco rovescio. Se nelle escavazioni per costrurre i piedritti si trovano ostacoli causati dalla mobilità della sabbia in presenza dell'acqua, bisogna andare con molta cautela, principalmente nell'aprire le breccie per portarsi sotto le imposte del vólto. La larghezza di queste breccie sarà la minima compatibile colla loro destinazione, e non di rado, atteso la troppa mobilità delle terre, può essere il caso di opporsi agli scoscendimenti mediante tavole mantenute da appositi sbadacchi contro le pareti degli sterri.

Invece di fare la parte di rivestimento che trovasi sotto le imposte incominciando dall'arco rovescio e venendo ai piedritti, può talvolta convenire di fare i soli piedritti, come si vede in IKLMN (*Fig.* 104), lasciando per ultimo l'arco rovescio. Questo modo di procedere non porta seco inconvenienti, finchè le spinte del terreno contro la superficie d'estradosso del rivestimento si mantengono fra tali limiti che difficilmente sono superati da quelle dei terreni sabbiosi.

Nelle gallerie entro sabbie bollenti, conviene che il canale di scolo delle acque abbia la posizione più bassa possibile affinchè possa servire pel facile e pronto scarico delle acque, le quali, oltre di

essere d'inciampo nelle escavazioni, renderebbero malagevole la costruzione della muratura e segnatamente quella dell'arco rovescio e delle basi dei piedritti. Per raggiungere l'intento può convenire di fare il detto canale nell'arco rovescio medesimo, adottando la disposizione rappresentata nelle figure 100, 101, 102, 103 e 104. Per non interrompere il deflusso dell'acqua mentre si sta per unire un anello dell'arco rovescio coll'ultimo eseguito, conviene farlo metà per volta deviando l'acqua dalla parte opposta a quella nella quale si lavora.

Finalmente faremo notare che, nell'esecuzione dei rivestimenti delle gallerie entro sabbie bollenti, è della massima importanza il lasciare molte e ben disposte fenditure ai piedi dei piedritti, affinché le acque, che, attraversate le sabbie, si portano in contatto dei rivestimenti, possano giungere senza ostacolo ai canali di scolo ed avere per loro mezzo facile e pronto deflusso. Le disposizioni state indicate nel numero 16 facilmente conducono a raggiungere lo scopo.

28. Centine per la costruzione delle vòlte delle gallerie in terreni mobili. — Queste centine devono all'occorrenza essere atte per appoggiarvi robusti puntelli destinati ad impedire i franamenti del terreno e per opporsi ai restringimenti delle escavazioni in calotta, e prestarsi per fare opposizione alle deformazioni delle mura-ture ancora fresche sotto l'azione delle pressioni enormi dei terreni circostanti. Segue da ciò che esse devono avere forme e dimensioni convenienti per raggiungere gli indicati due scopi, avuto riguardo non solo alle spinte normali, ma ben anche alle spinte longitudinali, ossia a quelle dirette secondo l'asse della galleria. Le figure 73 e 74 rappresentano, in prospetto ed in sezione secondo il piano normale meridiano, i due tipi di centine più di frequente stati adoperati nelle gallerie per la traversata dell'Appennino nella linea Foggia-Napoli. Il tipo della figura 73 è benissimo combinato per resistere alle pressioni normali al manto; ma le spinte longitudinali, ossia quelle dirette secondo l'asse della galleria, talvolta riescono a danneggiarlo ed a sconnetterlo. Per contro il tipo della figura 74, siccome avente tutti i suoi pezzi collegati da filagne e e contro-filagne orizzontali, si trova in condizioni assai migliori per rapporto alle spinte ultime indicate.

29. Esecuzione dei pozzi. — Già si è detto nel numero 14 essere due i sistemi di pozzi che si adottano nei terreni mobili, quali sono le forme e quali le dimensioni che generalmente conviene assegnare

ai loro rivestimenti. Resta ora da aggiungere qualche cosa sul processo d'escavazione e sul modo di contenere le terre.

Pozzi nei terreni argillosi. — Nelle argille l'affondamento dei pozzi ha generalmente luogo senza gravi difficoltà, perchè è facile l'escavazione e perchè raramente s'incontrano acque. Di mano in mano che lo sterro progredisce si fa il rivestimento per anelli, adottando quasi sempre il procedimento di sottomurare ogni anello al precedente, e si può mediamente ritenere che si fa un lavoro regolare procedendo per anelli aventi altezza variabile fra metri 0,50 ed 1 metro.

Per quei pozzi, ai quali si vuol assegnare sezione rettangolare, non si fa il rivestimento murale e, per contenere le terre, si adotta un'armatura formata da robusti telai orizzontali disposti, se occorre, per coppie e con distanze, da mezzo a mezzo, di circa metri 0,80. Le particolarità di quest'armatura sono rappresentate nella figura 72, la quale dimostra: come ciascun telaio sia rinforzato nel suo mezzo da una traversa orizzontale; come i due scompartimenti determinati da ogni traversa siano resi di forma invariabile mediante pezzi disposti coi loro assi sul perimetro di un ottagono; come per mantenere a posto i detti telai vi siano appositi ritti, i quali hanno pure per ufficio di mantenere contro terra robuste tavole orizzontali. Nel basso dei pozzi può talvolta convenire di collocare i detti telai a distanza minore di metri 0,80. L'esperienza ha dimostrato: che nelle argille scagliose più cattive la robusta armatura rappresentata nella figura 72 ha resistito alle pressioni orizzontali; che però i telai, malgrado i loro collegamenti nel senso verticale, rimasero spostati in modo da riescire inservibile l'intero armamento; e che tali guasti, crescenti colla profondità del pozzo, non fu talvolta possibile di impedire, salvo riempiendo con pezzi di legno tutto lo spazio fra un'intelaiatura e l'altra, in modo da formare una massa continua.

Nei pozzi situati sull'asse della galleria ed aperti in terreni argillosi, non si verificano che spostamenti verticali; ma generalmente non è così per quelli scavati ad una determinata distanza dall'asse ultimo indicato. Facendo la galleria trasversale, destinata a porre il pozzo in comunicazione colla galleria principale e quindi attaccando quest'ultima a dritta ed a sinistra, succede sovente che il pozzo s'inclina come se le terre in cui esso si trova aperto prendessero a muoversi verso le dette escavazioni, e talvolta lo strapiombo riesce tanto grande da rompere il rivestimento e da rendere inservibile il pozzo.

Bisogna tener presente che il momento più critico, pei pozzi delle gallerie entro terreni mobili, si verifica nel rivoltare da questi a quelle; cosicchè sommamente importa nelle crociere di procedere cautamente e di non economizzare in misure di precauzione se pur non vuolsi andar incontro a gravi disillusioni. Nei terreni, quali sono le argille scagliose della terza varietà, attaccando una galleria col sistema in calotta oppure col sistema in tutta sezione, la detta congiunzione riesce assai pericolosa; e, per essere più sicuri di un esito felice, giova mirabilmente il sistema in cunetta con arco provvisorio. Nelle circostanze eccezionali, come ottimamente fece osservare il signor Ingegnere Lanino, si potrebbe anche pensare ad allontanare i due attacchi di galleria dal pozzo mediante un cunicolo da aprirsi in un lasso di tempo relativamente assai breve, e da rivestirsi assai robustamente. Per raggiungere l'intento di ottenere il detto cunicolo, rivestito nel modo indicato, si potrebbe far uso di anelli di ghisa aventi lunghezza di circa metri 0,50 e divisi in quattro segmenti da inchiodarsi l'uno coll'altro. Questo sistema può dare eccellenti risultati quando si applichi per sezioni molto ristrette, e, quantunque non possa essere adottato in tesi generale, pure merita di essere preso in considerazione nei casi di difficoltà speciali.

Pozzi nelle sabbie bollenti. — L'escavazione dei pozzi nelle sabbie bollenti riesce operazione piuttosto difficile nella maggior parte dei casi; giacchè bisogna pensare, sia per porre impedimento agli scoscendimenti del terreno, sia per smaltire la grande quantità di acqua che continuamente si presenta nell'escavazione. Per opporsi agli scoscendimenti, basta nella maggior parte dei casi rivestire il terreno mediante tavole che generalmente si dispongono orizzontalmente e che si mantengono contro terra mediante armature del genere, ma meno robuste, di quella rappresentata nella figura 72. L'acqua passando per le fenditure che si trovano fra una tavola e l'altra si raccoglie sul fondo dell'escavazione, dalla quale in seguito dev'essere estratta mediante una pompa. L'operazione di porre l'armatura riesce generalmente molto penosa e difficile a motivo della piccolissima altezza con cui si può fare uno scavo nelle sabbie bollenti.

Invece di fare con legname i rivestimenti dei pozzi, si può far uso di anelli di ferro o di ghisa, talvolta colle pareti traforate, affinché l'acqua possa cadere nel fondo dell'escavazione per quindi estrarla mediante pompe. Questi anelli si riuniscono l'uno sull'altro

mediante bordi sporgenti verso l'interno, e si produce il loro affondamento scavando sotto il primo anello, il cui bordo inferiore è generalmente foggiato a tagliente. Di mano in mano che il tubo va affondandosi, si aggiungono nuovi anelli alla parte superiore.

Se le dimensioni orizzontali del pozzo sono piuttosto grandi, si può anche prendere il partito d'incominciare con un piccolo pozzo d'avanzamento avente il suo asse in coincidenza di quello del pozzo definitivo. Questo pozzo d'avanzamento avrebbe principalmente per iscopo di abbassare il livello dell'acqua, per poter quindi lavorare in grande sezione senza la presenza di quest'incomodo elemento. L'operazione potrebbe presso a poco essere fatta in questo modo: s'incomincia a scavare per una certa profondità, e generalmente per non più di metri 2, il piccolo pozzo facendo uso di tubi di ferro o di ghisa sovrapposti e con fori nelle loro pareti. L'acqua, che man mano va raccogliendosi in questo pozzo, si estrae mediante una pompa che deve essere tanto potente da poter sollevare tanta acqua quanto ne arriva per infiltrazioni dal disotto e dai fori delle pareti, e contemporaneamente si allunga l'escavazione per ottenere la sezione del pozzo definitivo, il quale, secondo i casi e secondochè è destinato a stare aperto o ad essere chiuso, verrà rivestito di muratura o mediante tavole mantenute a posto da opportune armature e puntellamenti. Una volta affondato e rivestito il pozzo definitivo per una certa lunghezza e generalmente fin dove si mantiene il livello dell'acqua nel pozzo d'avanzamento, si prosegue l'escavazione di quest'ultimo fino ad una determinata profondità e si fa dopo l'allargamento nel modo precedentemente indicato. Continuando con questo sistema il quale, in sezione orizzontale secondo la spezzata AA' B'B ed in sezione longitudinale secondo la retta CD, è rappresentato nella figura 99, non si possono incontrare gravi difficoltà nell'escavazione dei pozzi entro sabbie bollenti, sempre quando si assegnino ad essi le minime dimensioni compatibili colla loro destinazione. Sul fondo di questi pozzi non manca mai di raccogliersi una certa quantità d'acqua che di necessità deve essere sollevata con pompe, finchè non è aperta la galleria per cui i pozzi si sono costrutti.

30. Esecuzione delle crociere. — Nella traversata dell'Appennino, fra i tratti di galleria, che si dovettero parzialmente o totalmente ricostruire, vanno annoverati gli anelli prossimi alle gallerie trasversali destinate a porre i pozzi in comunicazione colla galleria principale. In questi siti di crociera, una volta aperti e sviluppati

CAPITOLO IV.

Dati relativi al progresso ed al costo di costruzione delle gallerie entro terreni mobili.

31. **Avanzamento dei lavori.** — Il progresso più o meno rapido dei lavori dipende da tali e da tante circostanze da riuscire quasi impossibile lo stabilire delle cifre, anche soltanto medie, convenienti ai diversi casi che si possono presentare nella pratica. Ad ogni modo, discutendo le risultanze ottenute nell'esecuzione di parecchie gallerie in terreni mobili, e tenendo conto di quelle anomalie di lavoro che sono inevitabili in qualunque galleria, in via di grossolana approssimazione e nelle ordinarie circostanze della pratica per le parti attaccate alle estremità delle gallerie ferroviarie ad un binario, si possono ritenere gli avanzamenti medi mensili contenuti nella tavola che segue

INDICAZIONE DEL TERRENO	AVANZAMENTO MENSILE
Argilla scagliosa della 1 ^a varietà .	da 18 ^m a 13 ^m
2 ^a .	" 13 " 10
3 ^a .	" 10 " 7
Sabbia bollente	" 15 " 9

Se poi trattasi degli attacchi mediante pozzi, sono mediamente accettabili i dati contenuti in quest'altra tavola

INDICAZIONE DEL TERRENO	AVANZAMENTO MENSILE	
	Per un attacco solo	Per due attacchi complessivamente
Argilla scagliosa della 1 ^a varietà .	da 12 ^m a 9 ^m	da 24 ^m a 18 ^m
2 ^a .	" 9 " 7	" 18 " 14
3 ^a .	" 7 " 5	" 14 " 10
Sabbia bollente	" 10 " 6	" 20 " 12

In quanto all'avanzamento dei pozzi, se essi hanno presso a poco a sezione orizzontale colle dimensioni state indicate nel numero 14, possono valere i dati contenuti in questa terza tavola

INDICAZIONE DEL TERRENO	AVANZAMENTO MENSILE DEI POZZI
Argilla scagliosa della 1 ^a varietà .	da 22 ^m a 15 ^m
2 ^o .	15 . 11
3 ^a .	11 . 7
Sabbia bollente	10 . 5

In mancanza di dati valevoli a dare un'idea degli avanzamenti mensili per le gallerie trasversali di giunzione dei pozzi colla galleria principale, si può ammettere la proporzionalità degli avanzamenti delle gallerie alle superficie delle sezioni rette delle escavazioni da farsi per darle ultimate. E volendosi applicare questa regola si distingueranno due casi, se la galleria trasversale ha origine all'esterno, oppure al fondo di un pozzo. Nel primo caso si stabilirà la proporzione assumendo per avanzamento della galleria principale quello che si ottiene nell'ipotesi che il lavoro si faccia per un imbocco; nel secondo caso si prenderà per avanzamento della galleria principale quello che corrisponde all'ipotesi di un attacco a cui si arriva da un pozzo.

Non presentiamo cifre sugli avanzamenti mensili per la costruzione, entro terreni mobili, delle gallerie ferroviarie a due binari. Ci obbligano a così fare e l'assoluta mancanza di dati e la nessuna speranza di poter giungere a stabilire, nell'attuale stato di cognizione, una giusta relazione fra gli avanzamenti di gallerie aventi sezioni rette molto differenti.

32. Importanza dei restringimenti di sezione, dell'agio da lasciarsi e dei ritagli da farsi nelle argille scagliose prima della costruzione del rivestimento. — Avviene sovente che nelle avanzate in piccola sezione, dopo che lo scavo trovasi aperto da tre o da quattro giorni, il terreno si mette a dar segni di movimenti per scomposizione delle armature e per restringimenti di sezione; e, all'atto della costruzione delle murature, se lo scavo fu fatto solamente per quanto era necessario a riceverle, si trova il suo cielo abbassato in modo da rendersi necessari notevoli ritagli di terreno

per collocare il rivestimento nella sua giusta posizione. Segue da ciò che, nell'escavazione di una galleria entro terreni mobili, importa tener conto di questa circostanza col dare alla sua sezione retta dimensioni maggiori di quelle definite dalla progettata superficie del rivestimento verso terra. Questa maggiore larghezza, da assegnarsi all'ingiro all'escavazione della galleria onde tener conto dei restringimenti di sezione causati dalle argille scagliose e particolarmente da quelle della seconda e della terza varietà, costituisce ciò che diciamo *agio* dell'escavazione e che, come risulta da osservazioni state fatte in proposito, si può assumere come è indicato nella tavola che segue

INDICAZIONI DEL TERRENO	A G I O		
	<i>pel vólto</i>	<i>pei piedritti</i>	<i>per l'arco rovescio</i>
Argilla scagl. della 2 ^a var.	da 0 ^m ,40 a 0 ^m ,60	da 0 ^m ,10 a 0 ^m ,20	da 0 ^m ,05 a 0 ^m ,10
" 3 ^a .	» 0 ,60 » 1 ,00	» 0 ,20 » 0 ,30	» 0 ,10 » 0 ,15

Anche le fronti degli scavi avanzano verso l'escavazione già fatta, di modo che per riuscire a murare un anello di rivestimento della sola lunghezza di 3 metri può occorrere di dover spingere innanzi lo scavo di circa metri 0,50 nelle argille scagliose della seconda varietà, e perfino di circa 1 metro in quelle della terza varietà.

Non ostante le indicate precauzioni nel dare agli scavi dimensioni maggiori di quelle che sarebbero necessarie per contenere i rivestimenti nelle ordinarie circostanze, avviene sovente che all'atto dell'esecuzione di questi ultimi si ha ancora il bisogno di fare nel terreno alcuni ritagli d'importanza più o meno grande.

Segue dal sin qui detto che, dovendosi fare gli scavi con dimensioni più grandi delle normali, e dovendosi anche ritagliare il terreno onde riaprire più volte una stessa parte dell'escavazione perchè invasa dall'argilla, il volume di sterro effettivamente eseguito deve risultare di gran lunga maggiore di quello corrispondente al vano della galleria ed ai suoi rivestimenti. Il signor Ingegnere Lanino riferisce che, durante un mese di lavoro regolare in due pozzi della galleria Cristina, fu tenuto esatto conto del volume di materia estratta, e che questo volume risultò eguale a quattro volte lo scavo utile. Tenendo conto della cresciuta che fa la terra argillosa

passando dal suo stato naturale a quello di sostanza smossa, in seguito di apposite esperienze si venne a concludere che lo scavo effettivo è nelle argille scagliose della terza varietà di circa due volte e mezzo lo scavo utile.

33. Quantità di legname occorrente per la costruzione delle gallerie entro terreni mobili. — Il sistema d'attacco in calotta, siccome quello in cui l'armamento si limita quasi esclusivamente alla parte di scavo superiore al piano d'imposta, è quello che esige minor quantità di legname; e si può ritenere che, ammesse tali condizioni di terreno mobile da potersi convenientemente applicare questo sistema, occorrono da 45 a 50 metri cubi di legname per ogni attacco di galleria ferroviaria ad un binario lungo circa 5 metri. La quantità di legname riferita al metro lineare di galleria sale da 9 a 10 metri cubi, ossia a circa $\frac{1}{6}$ del volume del vano del-

lo scavo totale per la stessa lunghezza di 1 metro; e risulta da osservazioni state fatte in proposito nelle gallerie per la traversata dell'Appennino fra Foggia e Napoli, che questo legname si ricupera per $\frac{4}{5}$ e che per $\frac{1}{5}$ va perduto, in parte dietro le murature ed in parte perchè reso inservibile.

Il sistema d'attacco in tutta sezione, esigendo che contemporaneamente si armi l'intero vano d'escavazione necessario per la costruzione della galleria, è quello che generalmente richiede maggior quantità di legname per armature e puntellamenti. Per ogni attacco, estendentesi a circa tre anelli di rivestimento murale di una galleria per ferrovia ad un binario, possono persino occorrere 350 metri cubi di legname, ossia circa 32 metri cubi di legname per ogni metro lineare di galleria, ossia ancora circa $\frac{1}{2}$ del volume dell'intera escavazione. Appena $\frac{1}{3}$ di questo legname si ricava in tale stato da poterlo ancora impiegare.

Il sistema d'attacco in cunetta, applicato presso a poco nel modo indicato dalle figure 88, 89, 90, 91 e 92, richiede una quantità di legname maggiore di quella occorrente pel sistema d'attacco in calotta e minore di quella necessaria pel sistema d'attacco in tutta sezione. Per ogni anello della lunghezza di 3 metri di una galleria ferroviaria ad un binario occorrono complessivamente circa 45 metri cubi di legname, cosicchè si può ritenere: essere di circa 15 metri

cubi la quantità di legname riferita al metro lineare di galleria; e variare essa fra $\frac{1}{4}$ ed $\frac{1}{5}$ del volume dell'intera escavazione. Nelle ordinarie circostanze si può ammettere che questo legname va perduto o vien reso inservibile per poco più di $\frac{1}{2}$ del suo volume primitivo.

Non abbiamo trovato elementi a sufficienza per stabilire in modo preciso la quantità di legname necessario per l'armamento delle escavazioni delle gallerie entro sabbie bollenti; ma, stando a due limiti abbastanza grandi, si può ritenere che questa quantità varia fra metri cubi 10 e metri cubi 15 per ogni metro lineare di galleria per ferrovia ad un binario.

Pei pozzi aventi sezione rettangolare, armati di legname e coi lati della loro sezione orizzontale, come fu indicato al numero 14, la quantità di legname occorrente per ogni metro della loro profondità si può ritenere siccome variabile fra 3 e 5 metri cubi.

34. Costo di costruzione delle gallerie entro terreni mobili.

— Tre sono gli elementi da considerarsi nel dedurre il costo di costruzione di questi importanti lavori: lo scavo delle terre, comprese le armature e puntellazioni di legname, non che l'esportazione delle materie; la muratura di rivestimento; e le murature per rifacimento parziale del volto nel sistema d'attacco in calotta, per l'arco provvisorio nel sistema d'attacco in cunetta applicato ai casi più difficili.

Pagando

Da L.	3,00	a L.	3,80	per ogni giornata di scavatore	
»	2,00	»	2,75	»	di manovale
»	1,00	»	1,50	»	di garzone,
L.	0,95	per ogni metro cubo d'acqua alla galleria	Starza		
»	0,45	»	»	»	Cristina,
»	67,00	per ogni migliaio di mattoni alla galleria	Starza		
»	71,50	»	»	»	Cristina,
»	14,00	per ogni metro cubo di pietra sbazzata di	S. Elauterio alla galleria	Starza	
»	12,00	per ogni metro cubo della stessa pietra	alla galleria	Cristina,	

- L. 7,90 per ogni metro cubo di sabbia alla galleria Starza
» 6,00 » » Cristina,
» 48,60 per ogni tonnellata di calce idraulica di
Palazzolo alla galleria Starza
» 43,60 per ogni tonnellata di calce idraulica di
Marsiglia alla galleria Cristina,
» 3,50 per la mano d'opera di un metro cubo di
muratura alla galleria Starza
» 4,00 per la mano d'opera della stessa quantità
di muratura alla galleria Cristina,

ritenendo che nella galleria Starza la muratura si fece in mattoni per quasi una metà, ed in pietrame sbozzato pel resto; che invece nella galleria Cristina fu eseguita per metà in mattoni e per metà in pietrame, e che la spesa d'impianto per le condotte d'acqua corrispose a circa L. 1,50 per ogni metro cubo, si ebbero i seguenti risultati:

Che nella galleria Starza il tratto dal pozzo N° 1 al pozzo N° 2^{bis}, eseguito col metodo in calotta, costò L. 3000 per ogni metro lineare, ossia

Per M.c. 66,400 di scavo a L. 16,50 per 1 ^{mc} . . .	L. 1095,60
» 37,000 di rivestimento a L. 46,00 per 1 ^{mc} . »	1702,00
» 2,333 di rivestimento rifatto a L. 86,75 per 1 ^{mc} »	<u>202,39</u>
	L. 2999,99;

Che nella galleria Cristina il tratto di media difficoltà corrispondente ai pozzi 1 ed 1^{bis}, eseguito col sistema in cunetta senz'arco provvisorio, costò L. 3155 per ogni metro lineare, ossia

Per M.c. 62,500 di scavo a L. 26 per 1 ^{mc} . . .	L. 1625,00
» 34,000 di rivestimento a L. 45 per 1 ^{mc} . »	<u>1530,00</u>
	L. 3155,00;

Che nella galleria Cristina il tratto di maggior difficoltà corrispondente al pozzo 1^{ter}, eseguito in cunetta coll'arco provvisorio, costò L. 5134 per ogni metro lineare, ossia

Per M.c. 67,800 di scavo a L. 35,00 per 1 ^{mc} . . .	L. 2373,00
» 43,000 di rivestimento a L. 52,00 per 1 ^{mc} »	2236,00
» 7,500 di murature provvisorie a L. 70 per 1 ^{mc} »	525,00
	<u>L. 5134,00.</u>

La misura degli scavi si è fatta prendendo per sezione retta quella limitata dal profilo d'estradosso della muratura. Ed i loro prezzi unitari comprendono le armature e puntellazioni di legname, il trasporto delle materie ed il riempimento col pietrame a secco nel sistema d'attacco in cunetta.

Il prezzo della muratura rifatta comprende la demolizione di quella che ha dato segni di degradazione, i puntellamenti da usarsi per abbatterla e per ricostruirla, la mano d'opera ed i materiali pel rifacimento.

Il prezzo della muratura provvisoria comprende anche la sua demolizione e lo sgombrò dei materiali.

Per rapporto allo scavo nell'argilla scagliosa, l'Ingegnere Lanino asserisce che l'osservazione di molteplici casi lo induce a considerare questo lavoro come proporzionale al così detto gonfiamento, ossia all'aumento che lo scavo subisce per motivo degli agi d'impianto e dei ritagli. Quando l'argilla è poco rimaneggiata, qual'è quella della prima varietà, cosicchè richiede benissimo una puntellazione completa, ma non dà luogo a sensibile gonfiamento, il costo dello scavo è di circa L. 12 per ogni metro cubo; e, passando da questo primo grado di metamorfismo alle altre varietà, se chiamasi

E lo scavo effettivo,

U lo scavo utile, ed

x il prezzo di un metro cubo di sterro utile espresso in lire, si ha

$$x = 12 \frac{E}{U}.$$

Affinchè i risultati a cui conduce questa formola si possano ritenere come accettabili, è necessario che si lavori con sistema adatto alla natura del terreno, tale cioè da garantire l'esecuzione delle murature, giacchè, se mentre sarebbe opportuno di procedere, ad esempio, col sistema d'attacco in cunetta, si procedesse in calotta, il costo dello scavo non aumenterebbe nella detta proporzione; ma per contro si dovrebbero sostenere altre spese per ricostruzioni.

Riportiamo ancora il costo totale di costruzione delle gallerie state scavate nell'argilla scagliosa per la traversata dell'Appennino sulla linea Foggia-Napoli. Queste gallerie sono

Quella d'Ariano per la parte lunga 1207 metri, che costò L.	2450000
La Sancina lunga	484 » » 800000
La Starza »	2595 » » 8300000
La Cristina »	1432 » » 5700000
	<hr/>
	5718 » L. 17250000.

I costi medi per ogni metro di galleria risultano

Per la parte in argilla della galleria d'Ariano	L. 2029
Per la galleria Sancina	» 1653
» Starza	» 3198
» Cristina	» 3980.

Finalmente il costo medio per ogni metro di lunghezza del complesso delle indicate gallerie è di L. 3017.

I riferiti prezzi comprendono anche i costi dei pozzi e delle gallerie trasversali per attaccare la galleria principale in diversi punti e per accelerare così il lavoro. Nel tratto di galleria d'Ariano, stato aperto nell'argilla scagliosa, si fecero sei pozzi colle profondità,

Il 1° di metri	36
» 2° »	38
» 3° »	38
» 4° »	37
» 5° »	31
» 6° »	49.

Nella galleria Starza il numero dei pozzi fu di undici, aventi le profondità

Il 1° di metri	61
» 2° »	60
» 3° »	72
» 4° »	74
» 5° »	71
» 6° »	69

Il 7° di metri	65
» 8° »	46
» 9° »	34
» 10° »	68
» 11° »	83.

Nella galleria Cristina il numero dei pozzi fu di sei e le loro profondità riuscirono

Il 1° di metri	47
» 2° »	45
» 3° »	49
» 4° »	45
» 5° »	46
» 6° »	52.

Il numero dei pozzi stati eseguiti per la costruzione delle tre gallerie d'Ariano, Starza e Cristina è molto maggiore di quello che suolsi adottare nelle ordinarie circostanze, e molti di essi furono intrapresi per affrettare il termine dei lavori, quando conobbero le difficoltà contro le quali dovevasi lottare. Questo fatto, congiunto all'altro della ricostruzione dei tratti di galleria caduti in rovina, ha di molto influito sul costo dei lavori, di maniera che non sarebbe giusto d'attribuire l'elevatezza degli indicati prezzi alla sola presenza dell'argilla scagliosa. Prendendo ad esempio la galleria Starza, il suo costo totale approssimativamente si ripartisce come segue

Per pozzi, gallerie trasversali ed impianti	L. 900000
Per costruzione della galleria	» 6100000
Per ricostruzioni	» 1300000
Totale L. <u>8300000.</u>	

Per quanto ci consta, non si hanno per le gallerie da aprirsi entro sabbie bollenti gli utili dati, sul costo di costruzione, stati riportati per le gallerie entro argille scagliose; epper ciò, in mancanza di meglio, ci limitiamo a dire: che generalmente esigono una spesa di molto minore di quella occorrente per le argille scagliose della terza varietà; e che nei casi difficili può questa spesa essere poco diversa da quella richiesta dalle argille scagliose della seconda varietà.

SULLA
COSTRUZIONE DELLE GRANDI GALLERIE
A FORO CIECO

1. Nozioni generali ed assunto di questo lavoro. — Fra le gallerie da eseguirsi in condizioni eccezionali, si devono annoverare quelle che hanno lunghezze ragguardevoli, non inferiori a 6000 metri, e che, per doversi scavare entro montagne le quali rapidamente si elevano partendo dagli imbocchi, di necessità devono essere aperte pei soli estremi senza il sussidio di attacchi intermedi somministrati da pozzi oppure da cunicoli o gallerie trasversali. La gran Galleria del Fréjus per la traversata delle Alpi Cozie, lunga metri 12220 e stata terminata nell'anno 1871, la Galleria di Monte Hoosac negli Stati-Uniti, lunga 7634 metri e stata ultimata nell'anno 1874, e la Galleria del Gottardo per la traversata delle Alpi Elvetiche, lunga 14920 metri ed ora in corso di costruzione, costituiscono tre luminosi esempi di costruzioni di grandi gallerie a foro cieco.

Le formazioni che queste gallerie attraversano sono generalmente costituite da rocce resistenti, cosicchè le armature e le puntellazioni risultano sempre di non grande importanza; ma può darsi che si incontrino acque in tanta copia da rendere penosa l'escavazione ed imbarazzata l'estrazione dei materiali di sterro.

L'andamento planimetrico delle grandi gallerie deve essere rettilineo, come quello di più facile tracciamento, di più spedita verifi-

cazione e di più certa riuscita. Aggiungasi ancora che si ottengono minori imbarazzi e maggior regolarità nella condotta dei lavori, e che la ventilazione riesce più sicura e più pronta. Non potendosi far coincidere la direzione di una grande galleria con quelle delle due strade d'accesso agli imbocchi, si costruisce prima con andamento rettilineo e quindi si raccorda alle estremità mediante brevi gallerie curvilinee. Questa disposizione venne seguita alla Galleria del Fréjus per ambedue gli imbocchi, e si adotta pure al Gottardo dalla parte di Airolo.

In quanto all'andamento altimetrico, è indispensabile che sia tale da permettere il naturale deflusso dell'acqua che, anche in gran copia, si può trovare in galleria; cosicchè importa che dagli imbocchi si salga verso l'interno e che vi siano due pendenze contrarie.

I metodi finora stati impiegati per la costruzione delle grandi gallerie a foro cieco essenzialmente si riducono a quello già stato messo in pratica al Fréjus, ed a quello che ora si applica al Gottardo per la traversata delle Alpi Elvetiche. Essi differiscono in alcune particolarità; ed in questo lavoro ci proponiamo appunto di brevemente esporli, facendo anche risultare dei loro pregi e dei loro svantaggi.

CAPITOLO I.

Costruzione della Galleria del Fréjus.

2. **Sistema d'attacco.** — Quattro fasi principali si notavano nell'escavazione della grande Galleria del Fréjus. Il primo attacco consisteva in una piccola *avanzata* I (*Fig. 105*) col suo cielo ad un livello di poco al disotto di quello delle imposte del vólto, col suo suolo situato quasi al livello dei regoli della ferrovia definitiva e con sezione quadrata di circa metri 2,50 di lato. Quest'escavazione armavasi con appositi ferri i quali, due a due riuniti ed inchiodati in alto in corrispondenza del mezzo della galleria, formavano una serie di quadri senza soglia, posti a distanze pressochè eguali. Sopra questi quadri si ponevano nel senso della lunghezza dell'avanzata due o più sbarre di ferro lunghe 4 metri, che si spingevano innanzi man mano che l'escavazione progrediva e che perciò dagli operai erano dette *marcia avanti*. A misura che l'avanzata procedeva, prolungavasi nel suo mezzo un binario collo scartamento

di metri 1,50, destinato a ricevere l'affusto sul quale dovevano operare le perforatrici.

Per lo sgombrò dei materiali caduti sotto l'azione delle mine, si faceva uso di vagonetti scorrenti su ristretti binari laterali che dalla fronte d'attacco si spingevano fino ai grandi vagoni di trasporto.

L'avanzata si manteneva ordinariamente colla lunghezza da 75 a 80 metri, e quindi si allargava, come si vede in II, per ottenere una sezione pressochè quadrata di metri 3,60 di lato. In quest'escavazione si ponevano, ad eguali distanze, alcune armature, ciascuna delle quali era costituita da ritti verticali portanti un cappello orizzontale; ed alcune longarine sostenute da queste armature assicuravano l'ingrandimento dalla caduta di massi staccantisi dal suo cielo. Nel mezzo di quest'escavazione trovavasi il binario collo scartamento di metri 1,50, pel quale dovevano arrivare i grandi vagoni di trasporto dall'interno all'esterno, e viceversa. L'ingrandimento dell'avanzata facevasi sulle prime coi mezzi ordinari, ma in seguito si credette conveniente di eseguirlo pure colle perforatrici.

L'escavazione in calotta, rappresentata in III, fu in gran parte eseguita coi procedimenti ordinari; e, man mano che il lavoro progrediva, si poneva sui cappelli delle armature dell'ingrandimento un robusto intavolato, spinto in parte nell'ingrandimento, onde ottenere al di sotto uno spazio perfettamente libero, facile ad attraversarsi ed al riparo da qualsiasi accidente.

Per i perfezionamenti introdotti nei meccanismi ed anche per la pratica che man mano ingegneri, assistenti ed operai andavano acquistando in un lavoro dapprima affatto nuovo, la perforazione dell'avanzata procedeva tanto celeremente da lasciare di troppo indietro quella della calotta, per cui, verso il principio dell'anno 1868, onde tener dietro ai rapidi progressi della perforazione meccanica, si credette conveniente d'attivare l'escavazione in calotta non in uno solo, ma in due siti. Questa disposizione rese indispensabile di mettere in comunicazione i due cantieri di sterro in calotta, e si ottenne lo scopo mediante una piccola galleria, denominata *tromba*, rappresentata in A. Nell'aprimento di questa galleria si impiegarono le perforatrici. Lo sgombrò delle macerie provenienti dagli attacchi in calotta si faceva assai bene e comodamente mediante botole praticate nell'impalcatura coprente l'escavazione II, dalle quali si versavano i materiali nei grandi vagoni di trasporto. L'escavazione in calotta veniva generalmente puntellata, e si trovò conveniente e

comodo di comporre ciascun'armatura con un semplice sistema poligonale formato di tre puntoni.

A conveniente distanza dal primo attacco in calotta, e generalmente a distanza non minore di 100 metri, si ponevano le armature per la costruzione del vólto, ed immediatamente seguivano i muratori applicati alla sua costruzione, procedendo, come al solito, per successivi anelli.

Costrutto il vólto per una certa lunghezza e convenientemente assodata la muratura, si procedeva all'abbattimento dei massi laterali rappresentati in IV, realizzando così la quarta fase dell'escavazione. Quest'abbattimento si faceva coi procedimenti ordinari; per tratte successive e brevi preparavansi le escavazioni che dovevano ricevere i piedritti; e tosto procedevansi alla loro costruzione. Una gran parte della galleria venne anche rivestita dopo compiuta l'intera escavazione, facendo prima i piedritti e quindi il vólto.

Il compimento del canale di scolo delle acque si faceva procedere di pari passo con quello dei piedritti. Nelle figure 106 e 107 sono rappresentate la sezione crizzontale e la sezione longitudinale nelle diverse fasi del lavoro; nelle figure 108, 109, 110, 111 e 112 si hanno le sezioni trasversali prodotte dai piani, le cui tracce orizzontali e verticali sono AB ed A'B', CD e C'D', EF ed E'F', GH e G'H', IK ed I'K'.

Già si è detto come un binario collocato nel mezzo dell'escavazione si mantenesse e continuamente si prolungasse fino alla fronte d'attacco dell'avanzata per l'affusto delle perforatrici, e come piccoli binari a scartamento molto ridotto si trovassero a fianco di questo pei vagonetti destinati a trasportare i detriti ai grandi vagoni che facevansi venire fino al principio dell'avanzata sul primo binario. Dove incominciava la galleria ultimata, al gran binario se ne sostituivano due onde agevolare il servizio di trasporto. Finalmente si rese necessario lo stabilimento di un ultimo binario sull'impalcatura coprente l'ingrandimento dell'avanzata appena si credette utile di accelerare il lavoro in calotta, coll'aprire, mediante procedimenti meccanici, la tromba di comunicazione fra i due cantieri. I vagonetti dell'avanzata erano messi in azione da uomini, e da cavalli tutti gli altri vagoni di trasporto.

Le perforatrici state adottate nella gran galleria delle Alpi Cozie furono esclusivamente quelle privilegiate che seppe combinare il genio meccanico del distinto e compianto Ingegnere Sommeiller. Queste perforatrici s'impiegavano collocandole su apposti affusti, in numero

di sette nell'avanzata, in numero minore nell'ingrandimento e nella tromba. Le forme e le dimensioni degli affusti erano in armonia col numero delle perforatrici che essi dovevano ricevere.

I fori da mina fatti colle perforatrici avevano generalmente profondità di metri 0,80; ed ascendeva ordinariamente a cinquanta il numero di quelli che si praticavano nella fronte d'attacco dell'avanzata, la quale misurava circa 6 metri quadrati. Preparati i fori creduti necessari ad ottenere un determinato effetto di avanzamento o d'ingrandimento, e fatto rincarare l'affusto da 50 a 70 metri, si caricavano con polvere, e si facevano esplodere le mine. Lo sgombrò delle materie sterrate immediatamente veniva fatto da appositi operai col sussidio dei vagonetti e dei vagoni di trasporto, di cui già si è fatto cenno.

Per mettere in azione le perforatrici e contemporaneamente ventilare in galleria, serviva l'aria compressa portata da apposita condotta che dall'edificio dei compressori si protendeva fin presso la fronte d'attacco dell'avanzata, dove si trovava posata sul suolo contro le pareti laterali. Nell'ingrandimento e dove facevasi il lavoro in calotta, giaceva in un'incavatura praticata nel suo mezzo; nella parte di galleria ultimata trovavasi al di sopra dell'imposta del volto sostenuta da apposite mensole. La presa d'aria, per mettere in azione le perforatrici, facevasi mediante tubi di caoutchouc, lunghi da 5 a 6 metri e col diametro di metri 0,05.

Nella perforazione meccanica delle rocce, per raffreddare in modo continuo lo scarpello, per esportare i detriti a misura che si formano nel fondo dei fori da mina, e per diminuire l'inconveniente del polverio di grave incomodo agli uomini e di grande danno alle macchine, è necessaria la presenza dell'acqua. Nella Galleria del Fréjus, una condotta, posta a fianco di quella dell'aria compressa, portava l'acqua ad un serbatoio di lamiera di ferro posto dietro l'affusto delle perforatrici e montato su una specie di carro. Un tubo flessibile, che staccavasi dalla condotta d'acqua, serviva per alimentare il detto serbatoio, ed un secondo tubo flessibile, in comunicazione colla condotta d'aria, vi manteneva la pressione dell'aria stessa. L'acqua di questo serbatoio, mediante una conveniente serie di tubi, poteva giungere a quelli per l'iniezione dell'acqua nei fori da mina, ed a volontà dei minatori si faceva in essi schizzare per raggiungere il voluto intento.

L'aria compressa, che doveva agire in galleria per mettere in moto le perforatrici ed anche per ventilare, si otteneva mediante

potenti macchine di compressione. S'incominciarono i lavori coi compressori a colonna degli Ingegneri Sommeiller, Grattoni e Grandis; ma nei tre anni d'impiego ricevuto all'imbocco presso Bardonnecchia non diedero quei buoni risultati che si speravano, e fu quindi imperiosa necessità di abbandonarli. Furono loro sostituiti i compressori a pompa a doppio cilindro, e questa sostituzione costituì un grande miglioramento, giacchè colla medesima forza motrice e con un terzo di spesa davano un volume d'aria compressa triplo di quella somministrata dai compressori a colonna. Quest'aria compressa veniva immagazzinata entro grandi serbatoi di lamiera di ferro coi quali trovavasi in comunicazione la condotta in galleria. I compressori a colonna erano posti in azione da ruote idrauliche a cassette.

L'aria compressa, che dopo aver agito sulle perforatrici si espandeva nei siti in cui queste lavoravano, costituì un sufficiente mezzo di ventilazione finchè i lavori in galleria erano di poco avanzati; ma in seguito, essendosi riconosciuto col progresso dei lavori che l'areamento non facevasi abbastanza bene dove lavoravasi in calotta e dove procedevasi alla costruzione del vólto e dei piedritti, s'incominciò coll'adottare all'imbocco di Bardonnecchia un ordinario ventilatore soffiante. In breve però si riconobbe come anche questa macchina riusciva insufficiente allo scopo, e si pensò allo stabilimento di un grande aspiratore a forza centrifuga.

All'imbocco verso Modane invece si prese il partito di operare la ventilazione mediante potenti apparecchi aspiratori a campana posti in azione da macchine a colonna d'acqua.

I lavori interni della Galleria del Fréjus furono per qualche tempo eseguiti col sussidio dell'illuminazione prodotta dal gaz-luce, preparato in apposito gazometro esterno alla galleria, e portato con tubi di ferro fino all'avanzata. Questa disposizione, stata riconosciuta assai buona, giacchè non obbligava gli operai all'incomodo di andare sempre muniti di lumi portatili ad olio, si dovette però abbandonare. Non fu mai possibile ottenere dagli operai un po' di cura nel trattamento del gaz e, per la loro incuria nel chiudere i robinetti dei becchi spenti, oltre di riuscire assai dispendioso, questo sistema d'illuminazione costituiva un pericolo incessante di gravi disastri.

3. Derivazioni e motori. — L'acqua, per mettere in azione le macchine destinate a comprimere l'aria nel cantiere di Bardonnecchia, venne ricavata dal torrente Melezet, presso la borgata Les

Arnauds. La derivazione fu fatta mediante una diga in pietra da taglio con opportuno edificio derivatore posto sulla sponda sinistra del detto torrente e munito di un sistema di saracinesche regolatrici. Un canale, lungo poco più di 3 chilometri, colla larghezza media di metri 1,20, della portata di 1 metro cubo, colle sponde in muratura e coperto ora con lastroni di pietra ed ora con *vólto*, portava alle motrici le acque in esso scorrenti; ma, siccome il torrente Melezet, in seguito a forti piogge ed allo scioglimento delle nevi, corre in certi tempi molto torbido, si rese necessaria la costruzione di un vasto bacino di epurazione. Questo bacino trovavasi a circa due terzi della lunghezza del canale presso l'abitato di Bardonnecchia; le materie più pesanti dell'acqua facevano deposito sul suo fondo; e quelle più leggiere, come foglie, barbette, bruscoli, pezzi di legno, erano trattenute da opportuni graticci.

Non parlando del modo con cui venivano alimentati i compressori a colonna, giacchè il poco tempo del loro esercizio ed il totale abbandono in cui si lasciarono appena si conobbero i vantaggi dei compressori a pompa, porta a conchiudere che giammai verranno essi applicati per la compressione dell'aria da usarsi come forza motrice nella costruzione delle grandi gallerie, diremo che l'acqua limpida passava dal detto serbatoio di epurazione nella rimanente parte del canale di derivazione, e quindi alle motrici dei compressori a pompa. Queste motrici consistevano in sette grandi ruote a cassette di ferro, disposte a livelli differenti ed in modo che il canale fuggatore di una fosse canale d'arrivo per quella immediatamente inferiore. La totale caduta disponibile era di 44 metri; ciascuna delle sette ruote utilizzava una caduta di 6 metri e quindi complessivamente di 42 metri; gli altri 2 metri di caduta erano consumati per le pendenze necessarie ai canali di fuga e d'arrivo dell'acqua alle motrici. Tre distinti edifici contenevano queste motrici; ciascuno dei due più alti serviva per due, e per tre quello più basso. Il diametro di ciascuna di esse era di 5 metri, e di 5 metri la loro larghezza di petto.

Ognuna delle sette ruote idrauliche, mediante due manovelle, metteva in moto due compressori, comunicando un moto di *va e vieni* ai loro stantuffi e facendo appena sei giri per ogni minuto primo.

Al cantiere di Modane vi derivava dal torrente Arc l'acqua destinata a mettere in moto le motrici per la compressione dell'aria. L'edificio di derivazione trovavasi a 30 metri al di sotto dello sbocco del torrente Charmaix, e consisteva in un robusto manufatto pel

quale passavano le acque dell'Arc attraversando luci munite di paratoie e di sbarre in ferro, le prime per regolare la portata e le seconde per impedire l'entrata di grossi corpi nel canale derivatore. Questo canale aveva andamento pressochè parallelo a quello dell'Arc e larghezza media di 6 metri; giungeva all'edificio delle motrici dopo un percorso di 640 metri; e guadagnava su questa tratta una caduta di 6 metri. Un moderatore, posto a circa metà della lunghezza del canale derivatore, ne regolava la portata in modo da mantenersi essa costantemente di 6 metri cubi.

Questa portata era condotta ad operare sopra sei eguali ruote a cassette col diametro esterno di metri 5,56 e colla larghezza di petto di metri 4. Dopo il salto veniva un canale di scarico assai più largo di quello di derivazione, e le acque in esso scorrenti nuovamente erano restituite all'Arc dopo un percorso che era circa $\frac{3}{4}$ di quello del canale derivatore.

Le motrici davano moto ai compressori a pompa con disposizioni affatto analoghe a quelle state indicate, parlando delle motrici del cantiere di Bardonnecchia.

4. Compressori, serbatoi e condotte dell'aria. — Limitandoci a parlare dei compressori a pompa, che sono i soli che hanno utilmente funzionato pei lavori del traforo delle Alpi Cozie, possiamo dire: che ciascuno di essi consta in un sistema di due stantuffi solidariamente collegati e moventisi in due cilindri orizzontali ripiegantisi verticalmente per formare due camere di compressione dell'aria; che questi stantuffi, nelle loro corse di *va e viene*, mettevano in movimento una massa d'acqua la quale, alternativamente alzandosi ed abbassandosi nei cilindri verticali, produceva la compressione dell'aria, la cacciata di questa nei serbatoi ed il giuoco degli alternati chiudersi ed aprirsi delle valvole d'aspirazione e di stivamento; e che ciascuno di essi era capace di comprimere in ogni ora circa 500 metri cubi d'aria alla pressione esterna.

Nel cantiere di Bardonnecchia, mediante un tubo collettore comunicante con tutti i compressori, l'aria compressa era condotta in dieci serbatoi eguali di lamiera di ferro, aventi forma cilindrica colle estremità emisferiche e della totale capacità di 170 metri cubi. Questi dieci serbatoi costituirono la sola parte dei compressori a colonna stata utilmente impiegata dopo l'applicazione dei compressori a pompa; ma, atteso la grande quantità d'aria compressa riconosciuta necessaria dopo il 1864, si credette conveniente

di aggiungervi due altri gran serbatoi eguali, e della complessiva capacità di 310 metri cubi.

Per mantenere invariabile, o quasi invariabile, la pressione dell'aria nei dieci serbatoi piccoli, fu costruito un bacino regolatore della capacità di 400 metri cubi ed operante, mediante due condotte di ferro, sull'aria raccolta nei serbatoi con un battente di 50 metri. Se non che, dopo la costruzione dei due grandi serbatoi dell'aria compressa, il detto bacino regolatore si riconobbe insufficiente allo scopo e, anzichè ricorrere alla costruzione di un nuovo bacino assai più grande, si pensò di mantenere l'aria alla pressione costante di sei atmosfere mediante una valvola di sicurezza, stabilita sulla condotta in galleria ed in corrispondenza del fondo dell'ingrandimento. Questa disposizione presentava il gran vantaggio che, quando l'aria si trovava ad una pressione maggiore di 6 atmosfere, sfuggiva in sito in cui poteva tornar utile per la ventilazione.

La gran condotta, per cui l'aria compressa veniva portata dai serbatoi sino all'estremo limite dell'avanzata, aveva, per la parte che trovavasi esterna alla galleria, la lunghezza di 800 metri, ed era divisa in tronchi rettilinei con tanti apparecchi di dilatazione quanti erano questi tronchi. I tubi componenti questa condotta erano di ghisa ed il loro diametro interno di metri 0,20.

Al cantiere di Modane furono primitivamente stabiliti i compressori a colonna, ed erasi pensato di farli agire impiegando le sei ruote idrauliche, di cui si parlò nel precedente numero, per mettere in moto dodici pompe onde sollevare l'acqua per ottenere una caduta artificiale di 25 metri. Se non che il ritrovato dei compressori a pompa fece totalmente abbandonare quest'idea, ed al posto delle pompe ad acqua furono messi altrettanti compressori a pompa, o pompe ad aria, come quelli del cantiere di Bardonnecchia. L'aria compressa, somministrata da queste macchine, veniva immagazzinata nei dieci serbatoi annessi agli antichi compressori ed in altri quattro di maggiori dimensioni. I dieci serbatoi piccoli erano eguali fra di loro e presentavano la totale capacità di metri cubi 160; ed i quattro serbatoi maggiori erano pure eguali fra loro colla complessiva capacità di metri cubi 620.

Anche dalla parte di Modane, per mantenere costante, malgrado le irregolarità di produzione e di consumo, la pressione dell'aria nei serbatoi, si ebbe ricorso all'impiego di un bacino regolatore. Per raggiungere lo scopo si fece una derivazione dalla sponda sinistra del torrente Charmaix, e l'acqua che ricavavasi si conduceva

entro una vasca di muratura costrutta nel pendio del monte a 50 metri d'altezza sui serbatoi. L'acqua di questa vasca, mediante un tubo che aveva capo ai serbatoi, serviva per raggiungere il desiderato scopo.

La condotta per portare l'aria compressa in galleria era fatta con tubi come quelli stati adoperati per lo stesso scopo al cantiere di Bardonnecchia, e la parte di questa condotta posta fuori della galleria aveva in proiezione orizzontale la ragguardevole lunghezza di 1240 metri.

5. **Ventilazione.** — Ammettiamo: che il numero degli operai, i quali contemporaneamente lavoravano a ciascun imbocco della galleria del Fréjus, ascendesse a 350; che, se non tutti, almeno molti di essi fossero muniti di una lampada, e che, per ogni 24 ore di lavoro, occorressero 144 chilogrammi di polvere da mina, ossia chilogrammi 6 per ogni ora. Potendosi ritenere che si avesse una sufficiente ventilazione con 13 metri cubi d'aria per ora e per operaio, compresi i lumi, e che dopo l'esplosione di un chilogramma di polvere convenisse somministrare in galleria 100 metri cubi di aria, risulta ascendere a 5150 metri cubi la quantità d'aria ad una atmosfera che ad ogni ora era necessario introdurre per ciascun imbocco della galleria.

I compressorî agli imbocchi verso Bardonnecchia e verso Modane, trovandosi tutti in azione, potevano rispettivamente somministrare per ogni ora 7000 e 6000 metri cubi d'aria alla pressione atmosferica, e quindi più di quanto richiedeva una sufficiente ventilazione. Ma, nè potevasi sperare che sortisse dalla galleria tant'aria viziata quant'aria pura era somministrata dalle condotte d'aria compressa, nè quest'ultima veniva impiegata colla voluta abbondanza nei momenti di maggior bisogno, ossia appena dopo lo scoppio delle mine. Una certa quantità d'aria viziata restava parzialmente indietro nelle cavità e sotto la vólta, e per contro non poca aria pura sortiva dalla galleria. Per questi motivi l'aria che, sia per la perforazione meccanica, sia per l'unico scopo di ventilare, espandevasi in galleria riusciva insufficiente allo scopo; e quindi la necessità di altri modi di ventilazione.

Al cantiere di Bardonnecchia, come già si disse, si supplì sulle prime all'insufficienza di ventilazione con un ordinario ventilatore soffiante di 80 centimetri di diametro. Esso, senza incagliare il regolare andamento dei lavori, era stabilito nella tratta in grande sezione ed avanti quanto più si poteva. Era messo in moto da un piccolo ci-

lindro motore ad aria compressa, serviva per l'aeramento in quella tratta di piccola galleria, nella quale eravi maggior bisogno, mediante un canale a sezione quadrata di 28 centimetri di lato, costruito con sottili tavole di legno, collocato nell'acquedotto di scolo scavato nella roccia, e scoprentesi poi con una leggiera apertura dove si voleva ottenere la ventilazione. Questa tratta era generalmente quella in cui avevasi un lavoro ben avviato come scavo in calotta, rivestimento del vólto e costruzione dei piedritti.

Ma anche questo ventilatore soffiante non tardò a manifestarsi insufficiente allo scopo, motivo per cui si pensò allo stabilimento di un gran aspiratore a forza centrifuga. Quest'apparecchio, progettato dal distinto signor Ingegnere Borelli, fu costruito nello stabilimento Cokerill di Seraing, incominciò a funzionare nell'anno 1866 ed era posto in azione da una potente turbine tangenziale su cui operava una colonna d'acqua colla portata di 300 litri per minuto secondo e colla caduta di 20 metri. La velocità angolare di questo aspiratore era di giri $87 \frac{2}{3}$ per ogni minuto primo, di 6 metri il suo diametro, ed era posto al di sopra del vólto della galleria presso l'imbocco; ed il lavoro d'aspirazione veniva fatto dall'avanzamento della grande sezione mediante un *palchetto d'aerazione* che, essendo orizzontalmente disposto e dividendo il vano della galleria in due parti, formava due vasti condotti, uno inferiore in cui l'aria pura si portava dall'esterno all'interno, l'altro d'aria viziata che, partendo dall'interno e passando sopra il palchetto, sfuggiva attraverso alle palette dell'aspiratore. L'aspirazione fatta da questa macchina era assai energica, ma non dispensò mai dalla convenienza di mantenere, principalmente in corrispondenza degli scavi delle calotte, alcune piccole distribuzioni d'aria compressa, che si derivavano dalla condotta di ferro mediante tubi di caoutchouc col diametro di metri 0,02.

Dalla parte di Modane, essendo la pendenza della galleria assai maggiore che non dalla parte di Bardonnecchia, fu imperiosa necessità di pensare ad un mezzo di aspirazione assai più energico, e, come già fu detto al numero 2, si raggiunse lo scopo impiegando gli aspiratori a campana posti in azione da macchine a colonna d'acqua.

Il principio su cui si fonda la costruzione di questi aspiratori è semplicissimo, ed ecco in che consiste: s'immagini una campana cilindrica, a cui si dà un moto verticale di *va e viene*, e suppon-

gasi che essa si trovi capovolta su un recipiente fisso che, mediante valvole poste sul suo fondo ed aprentisi dal basso all'alto, si trova in comunicazione con l'aria della galleria. La campana sia munita nel suo cielo di aperture con valvole aprentisi pure dal basso all'alto, e peschi per buona parte della sua parete laterale in una vasca anulare che circonda il recipiente fisso e che è piena d'acqua. Nel moto ascendente della campana tende avvenire una rarefazione d'aria nello spazio compreso fra essa ed il recipiente fisso; ma ben tosto l'aria della galleria, premendo sulle valvole del fondo del recipiente fisso, le apre ed entra nell'or indicato spazio. Appena incomincia il moto discendente avviene la chiusura di queste valvole, l'aria esistente fra il recipiente fisso e la campana rimane compressa, apre tosto le valvole del cielo della campana e così se ne sfugge nell'atmosfera. Replicandosi a brevi intervalli l'accennato giuoco di richiamo d'aria dalla galleria nella campana, e di cacciata dell'aria raccolta nell'atmosfera, si può ottenere la voluta aspirazione dell'aria viziata.

Gli apparecchi aspiratori erano all'imbocco verso Modane in numero di quattro, disposti in fila e divisi in due gruppi. Trovavansi stabiliti in un edificio presso l'imbocco della galleria ed erano posti in azione con acqua derivata dal torrente Charmaix. Quest'acqua, mediante un primo ramo della condotta, arrivava in un bacino regolatore, e da questo punto, convenientemente intubata, si portava alle macchine a colonna che direttamente dovevano funzionare sugli aspiratori. Per ogni due macchine a colonna d'acqua e quindi per ogni gruppo di due aspiratori, eravi un recipiente in cui arrivava l'acqua destinata a porle in moto, e, onde evitare i gravi inconvenienti dei colpi d'ariete pei continui e ripetuti arresti dell'acqua in queste macchine, s'impiantò un piccolo compressore fra gli aspiratori. Questo compressore costantemente manteneva nei detti recipienti quella quantità d'aria compressa che doveva servire da cuscinò elastico per spegnere la forza viva dell'acqua di cui veniva interrotto il movimento.

Generalmente non si trovavano contemporaneamente in azione i quattro aspiratori di Modane, ma soltanto i due appartenenti ad uno stesso gruppo, pei quali le cose erano disposte in guisa che, mentre l'acqua aveva cessato di agire in uno, incominciava ad operare nell'altro. Il diametro della campana di ciascun aspiratore era di metri 5, di metri 2,90 la sua altezza, di metri 2 la sua corsa massima e da 6 ad 8 il numero dei colpi di *va e viene* per ogni

minuto primo. La derivazione dal Charmaix, fatta per dar moto a queste macchine, somministrava una portata di 300 litri per ogni minuto secondo con una caduta di 63 metri; e la forza di cui potevasi così disporre bastava per far lavorare non due soltanto, ma tutti e quattro gli aspiratori. La vasca in muratura, sulla quale ciascun aspiratore era impiantato, comunicava col condotto per cui doveva passare l'aria viziata, e questo condotto, con sezione di 1 metro quadrato, trovavasi nel definitivo acquedotto di scolo della galleria.

Tenendo in azione due degli aspiratori di Modane, si potevano estrarre dalla galleria circa 30000 metri cubi d'aria viziata per ogni ora, la quale era sostituita in parte dai 6000 metri cubi d'aria pura somministrati dalle condotte dell'aria compressa per la perforazione meccanica, e pel rimanente da una corrente d'aria pura che dall'esterno portavasi all'interno della galleria.

Per ottenere una buona ventilazione sommamente importa che l'aspirazione sia fatta nel sito in cui più facilmente si verificano ristagni d'aria viziata e di fumo proveniente dall'esplosione delle mine, e si può raggiungere l'intento convenientemente prolungando il condotto aspiratore dell'aria con appendici protendentisi fino ai siti suindicati.

6. Perforatrici. — Come già si disse al numero 2, si adoperarono esclusivamente le perforatrici Sommeiller al traforo delle Alpi Cozie; giacchè, fra tutte le macchine allora conosciute per fare i fori da mina nelle rocce dure e nelle gallerie, erano incontestabilmente le migliori e le sole da cui si potevano attendere buoni risultati.

In queste macchine si distinguono due principalissime parti, il *sistema motore* ed il *sistema percussore*. La parte formante il sistema motore consiste essenzialmente in un cilindro, detto *cilindro motore*, nel quale può prendere moto rettilineo alterno uno stantuffo sotto l'azione dell'aria compressa che giunge alternativamente da una parte e dall'altra dello stantuffo medesimo, con un giuoco analogo a quello di distribuzione nelle macchine a vapore. Il moto dello stantuffo viene trasformato in moto circolare continuo intorno ad un asse perpendicolare alla direzione dell'asse del cilindro motore, e, mercè un gruppo d'ingranaggi conici, questo moto rotatorio viene trasmesso ad un secondo asse perpendicolare a quello ultimo indicato, detto *albero motore*, e disposto nel senso della lunghezza della perforatrice. Fra due guide parallele, che costituiscono l'intelai-

tura della macchina, può scorrere tutta la parte formante il sistema percussore, che consiste essenzialmente in un cilindro, chiamato *cilindro percussore*, entro cui, sotto l'azione dell'aria compressa, si muove uno stantuffo al cui gambo sta attaccato il porta-scarpello. Lo scorrimento del sistema percussore è reso possibile mediante una *vite motrice* posta dalla parte posteriore del cilindro e girevole in apposite scanalature a spira praticate nelle due guide, per modo che quello avanza o indietreggia secondo che questa gira in un senso o nell'altro.

Un bocciuolo collocato sull'albero motore, ed avente la sua faccia anteriore inclinata per rapporto all'asse dell'albero stesso, serve per dar moto al gambo orizzontale della valvola destinata a convenientemente distribuire l'aria compressa pel moto dello stantuffo del cilindro percussore, onde ottenere l'avanzamento ed il regresso dello scarpello.

Per ottenere che lo scarpello giri sul proprio asse dopo ciascun colpo, serve un eccentrico collocato all'estremità dell'albero motore. Quest'eccentrico fa corpo coll'albero or indicato ed opera, mediante appositi congegni, su una ruota a denti, entro cui il porta-scarpelli può liberamente scorrere nel senso longitudinale, ma non girare. Le cose sono disposte in modo che, per ogni colpo dello scarpello, il detto eccentrico fa rotare di una frazione di giro la ruota a denti, la quale in questo suo moto rotatorio trascina seco di una egual frazione di giro il porta-scarpello, e quindi anche lo scarpello.

Era anche necessario di pensare per l'avanzamento dello scarpello a misura dell'affondarsi del foro che questo andava scavando; ed ecco qual è l'idea che ha condotto a raggiungere quest'importante scopo. Trovasi sull'albero motore un eccentrico, il quale, per ogni giro dell'albero stesso e mediante un apposito congegno, fa rotare di una frazione di giro una ruota con denti di sega inalberata a dolce fregamento sulla coda dello stantuffo percussore. Questo movimento rotatorio vien trasmesso ad una ruota di forza, la quale può essere o non alle prese colla faccia posteriore della vite motrice, che trovasi all'estremo del cilindro suddetto. Quando avviene il primo fatto, il cilindro percussore avanza, e sta invece fermo quando si verifica il secondo. Per ottenere che la detta ruota di forza venga o no alle prese colla vite motrice, esiste un meccanismo il quale, mentre per una estremità comanda la ruota di forza, coll'altra va ad arrestarsi contro i denti praticati nelle facce superiori delle due guide. Prima che un foro in corso di escavazione abbia raggiunto

la profondità corrispondente all'intera corsa dello stantuffo, un risalto di cui trovasi munito il porta-scarpello rende libero l'estremo anteriore di questo meccanismo, la ruota di forza avanza, va ad impigliarsi colla vite motrice e così succede l'avanzamento del sistema percussore. Poco dopo, il detto estremo va ad arrestarsi contro il dente successivo delle guide, la ruota di forza non può più avanzare ed il sistema percussore trovasi così arrestato.

Per far indietreggiare lo scarpello allorché è praticato un foro si fa ingranare una piccola ruota dentata posta sull'albero motore con una ruota che produce nella vite motrice del sistema percussore una rotazione contraria di quella che corrisponde al moto di avanzamento di quest'ultimo.

7. Piano inclinato automotore. — Trovandosi dalla parte di Modane l'imbocco della galleria assai elevato al di sopra del cantiere di Fourneaux, in cui si potevano depositare i materiali, si presentò la necessità di pensare all'innalzamento di questi, e si raggiunse lo scopo con un piano inclinato automotore.

Questo piano inclinato aveva la lunghezza di 240 metri, e la sua inclinazione corrispondeva ad una pendenza di 1 metro di altezza per 2,23 di base, e constava: di una ferrovia a due binari collo scartamento e coll'interbinario di metri 1,50; di una robusta puleggia col diametro di 3 metri collocata alla sommità della ferrovia or indicata; di una robusta fune metallica; e di due casse d'acqua, ciascuna delle quali era capace di contenere 2000 litri. Queste casse, montate su due sale con ruote e sormontate da un'impalcatura orizzontale di legname, facevano parte di due carri, ciascuno dei quali era attaccato ad un'estremità della fune suddetta. Questa fune poi aveva tale lunghezza che, trovandosi uno dei carri ad un'estremità di uno dei due binari del piano inclinato, l'altro carro era alla estremità opposta dell'altro binario. Le estremità del piano inclinato avevano tale posizione, rispetto ai piani dei cantieri superiore ed inferiore, che, giunti i due carri l'uno in basso e l'altro in alto, le loro impalcature si trovavano a perfetto livello delle rotaie di carico e di scarico. La manovra di questo piano inclinato aveva luogo come segue: si conduceva sull'impalcatura del carro che era in basso un vagoncino carico dei materiali da sollevarsi, e su quella del carro che era in alto un vagoncino vuoto o con oggetti da portarsi in basso. Nella cassa di quest'ultimo carro si versava tant'acqua da preponderare col suo peso e da turbare l'equilibrio scendendo, onde ottenere che il carro basso venisse trascinato all'insù con movimento

dolce, che era possibile governare ed anche spegnere affatto mediante un robusto freno operante sulla puleggia indicata. Giunti i carri alla loro meta venivano scaricati; quello in basso del vagoncino vuoto e dell'acqua che operò il movimento; quello in alto del vagoncino e dei materiali innalzati. A questa manovra teneva dietro un'altra perfettamente identica, salvo l'inversione del movimento della fune e dei carri, che conduceva però sempre allo scopo desiderato, cioè al sollevamento dei materiali dall'uno all'altro estremo del piano.

La durata media di una salita sul piano inclinato di Fourneaux era di 4', e di 14' il tempo impiegato pel carico e per lo scarico; cosicchè era di quaranta il numero dei viaggi in ogni giornata di 12 ore di lavoro. Il peso utile che ad ogni viaggio si poteva sollevare sul detto piano ascendeva a chilogrammi 1500.

CAPITOLO II.

Costruzione della Galleria del Gottardo.

8. Sistema d'attacco. — Sei principali fasi si devono distinguere nel sistema d'attacco che si adotta alla Galleria del Gottardo. S'incomincia collo scavare una piccola *avanzata* I (*Fig.* 113) col suo cielo all'altezza o quasi all'altezza dell'estradosso del vólto, larga ed alta circa metri 2,50. Quest'avanzata si arma e si puntella dove si presentano i minimi indizi di massi staccati; il suo fondo si conserva con tale livelletta da riuscire facile il deflusso dell'acqua che in essa incontrasi; e nel suo mezzo si mantiene e, man mano che l'escavazione va progredendo, si allunga il binario sul quale deve poter scorrere l'affusto, destinato a portare le perforatrici per eseguire i fori da mina, ed i vagonetti pel trasporto dei detriti.

Ad una certa distanza dalla fronte d'attacco nell'avanzata, e generalmente a distanza di 200 a 250 metri, s'ingrandisce l'escavazione a dritta ed a sinistra abbattendo i due massi le cui sezioni rette sono rappresentate in II, onde ottenere lo *scavo in calotta*. Questo ingrandimento si fa con mezzi meccanici, e, per questa ragione, è necessario il mantenimento di due altri binari per l'avanzamento e pel regresso degli affusti portanti le perforatrici e per la circolazione

dei vagonetti di trasporto. Lo scavo in calotta difficilmente abbisogna di essere armato e puntellato, e, verificandosi il bisogno di sostenere alcuni massi minaccianti rovina, si deve procurare di farlo mediante travi orizzontali e puntelli che non facciano impedimento alle manovre necessarie pel regolare progresso del lavoro.

Fatto l'ingrandimento, ossia lo scavo in calotta, si può procedere alla costruzione del vólto; ma il cantiere di questo lavoro dev'essere mantenuto almeno alla distanza di 250 metri da quello precedentemente indicato, onde conservare la voluta indipendenza fra le opere che in essi si compiono.

Alla distanza di 250 a 300 metri dal precedente cantiere si apre una fossa, detta *strozzo*, la quale discende fino al suolo della galleria. Quest'escavazione, rappresentata in III e IV, ha larghezza di circa 3 metri, può essere attaccata in due siti e si può mantenere tagliata a scarpa o a gradinate onde poter per essa accedere alla parte superiore della galleria, qualora per questo scopo non vogliasi far uso di apposita rampa di legno, dalla quale si monta sopra uno dei due massi che restano a dritta ed a sinistra del cunicolo suddetto. Al Gottardo fu scavata una parte dello strozzo cogli ordinari procedimenti, ed una parte colle perforatrici.

A conveniente distanza dallo strozzo si abbattono i due massi V e si procede alla costruzione dei piedritti; si scava dopo il cunicolo VI onde far luogo al condotto per lo scolo delle acque. Dove la roccia presenta una fermezza a tutta prova si può far prima lo scavo dell'intera sezione, e passare quindi alla costruzione del rivestimento, andando innanzi per anelli, incominciando dalle fondazioni dei piedritti e salendo fino alla chiave del vólto.

Nelle figure 114 e 115 sono rappresentate la sezione orizzontale e la sezione longitudinale nelle diverse fasi del lavoro; e nelle figure 116, 117, 118, 119, 120 e 121 si hanno le sezioni trasversali prodotte dai piani, le cui tracce orizzontali e verticali sono AB ed A'B', CD e C'D', EF ed E'F', GH e G'H', IK ed I'K', LM ed L'M'.

Come già si disse, i binari speciali vanno fino alle fronti d'attacco dell'avanzata e del lavoro in calotta. Un quarto binario parte pure dalla fronte dello strozzo per raggiungere fuori della galleria il cantiere di deposito degli sterri. Molti vagonetti circolano su questi binari per condurre macchine, utensili e materiali ai cantieri di differenti lavori, e per esportare gli sterri fuori della galleria. I vagoni, che si trovano sui primi tre binari, sono generalmente messi in azione da uomini o da cavalli, mentre apposite locomotive

ad aria compressa servono per la trazione degli altri di maggiori dimensioni.

Il signor Favre, assuntore dei lavori della Galleria del Gottardo, non ha voluto vincolarsi per quanto si riferisce al sistema delle perforatrici da adoperarsi, e, ben a ragione, ha mantenuto libero il campo agli utili perfezionamenti. Esigendo dai costruttori di perforatrici che i loro apparecchi risultassero di facile applicazione sugli affusti principali, destinati a riceverle, onde porle contemporaneamente in azione, e di più, che il loro modo d'impiego fosse tanto facile e semplice da potersi in breve apprendere dai minatori, non tralasciò di far eseguire apposite esperienze sui differenti modelli che gli venivano presentati; e, dopo essersi servito sul principio dei lavori di alcune perforatrici Sommeiller già state adoperate al traforo del Fréjus, venne successivamente impiegando quelle dei signori Dubois e François, quelle anglo-americane del signor Mac Kean, quelle del signor Ferroux, ed ultimamente quelle del signor Turrettini.

I fori da mina, fatti colle perforatrici, hanno generalmente la profondità di metri 1,10; ed il numero di quelli che si fanno sulla fronte d'attacco dell'avanzata, la qual fronte ha una superficie compresa fra metri quadrati 6 e metri quadrati 6,50, varia generalmente da sedici a ventisei, secondo la natura del terreno. Preparati i fori, si fa rinculare l'affusto da 60 ad 80 metri; si caricano colla dinamite; e si fanno esplodere le mine in due o tre tempi successivi. Si deve dopo procedere allo sgombrò dello sterro, e quest'operazione si fa a mano o con ceste, caricando i detriti sui piccoli vagoni destinati a trasportarli fin sopra lo strozzo. Mediante appositi canali di scarico si vuotano questi piccoli vagoni negli altri di maggiori dimensioni, che si trovano sul binario più basso. Per elevare i materiali che dall'esterno della galleria devono andare ai cantieri dell'avanzata e della calotta si fa uso di apposito monta-carico situato dove incomincia lo strozzo, ed a cui serve da motore una colonna d'acqua immagazzinata da una pompa mossa dall'aria compressa.

Per dar moto alle perforatrici e contemporaneamente ventilare in galleria, serve l'aria compressa portata da apposita condotta che dall'edificio dei compressori si estende fin presso la fronte d'attacco dell'avanzata. Questa condotta è fatta con tubi del diametro di metri 0,20 fin presso l'estremità dello strozzo; da questo punto fino all'ingrandimento in calotta il diametro dei tubi è di metri 0,14, e di metri 0,10 quelle dei tubi destinati a continuare la condotta fino

all'avanzata. Le prese d'aria per mettere in azione le perforatrici sono stabilite sulle ultime due parti della condotta mediante tubi di caoutchouc col diametro di metri 0,05. Oltre queste prese d'aria, esistono lungo la condotta principale appositi robinetti per la ventilazione in vicinanza dei cantieri di lavoro nell'interno della galleria.

L'acqua da iniettarsi nei fori da mina si ricava, quando occorre, mediante tubi di caoutchouc, da un serbatoio posto dietro l'affusto delle perforatrici.

Per somministrare l'aria compressa destinata a mettere in moto le perforatrici, ad alimentare le locomotive pei trasporti ed a ventilare, servono appositi compressori a pompa, stati ideati dal signor Ingegnere Professore Colladon, posti in azione da turbini. Siccome poi l'aria somministrata dai compressori, quantunque in maggior copia di quella viziata dagli operai, dalle lampade e dall'esplosione delle mine, scaccia abbastanza bene quella che trovasi nell'avanzata e nella parte di galleria in calotta, ma imperfettamente quella che trovasi nella parte di galleria ultimata, di modo che una parte di aria pura sorte per gl'imbocchi senza sostituire un corrispondente volume d'aria viziata; assai opportunamente il signor Favre prese il partito di collocare presso ciascun imbocco un potente apparecchio aspiratore a campana, la cui azione si estende fino all'estremità del volto mediante un tubo continuo col diametro di metri 1,20, sospeso all'intradosso del volto stesso.

Incontrandosi rocce con crepacci manifestanti indizi di facili scoscendimenti o, ancora peggio, terreni poco solidi atti a produrre delle pressioni laterali, la condotta del lavoro si modifica in modo da distinguere le sette principali fasi rappresentate nella figura 122. S'incomincia collo scavare l'avanzata I; si fa dopo l'ingrandimento II; in seguito si passa allo scavo in calotta abbattendo i massi laterali III; colle escavazioni IV si raggiunge il piano d'imposta del volto, onde poter immediatamente procedere alla sua esecuzione; si fa lo strozzo V e si eleva il piedritto corrispondente; si abbatte il masso VI e si costruisce l'altro piedritto; finalmente si passa all'escavazione VII nella quale si compie il canale di scolo. Queste sette fasi del lavoro, colle disposizioni d'eseguimento, sono chiaramente indicate nelle figure 123, 124, 125, 126, 127, 128 e 129. Nelle prime cinque di queste figure si ha la sezione trasversale ed una porzione della sezione longitudinale nel lavoro che esse rappresentano; nelle altre due la sola sezione trasversale. Aggiungiamo ancora, che queste figure, e segnatamente le prime sei, rappresentano le disposizioni

convenienti nel caso di terreni poco solidi, capaci di dar luogo a pressioni laterali, che, nel caso di rocce con crepacci e facili a scendere, possono convenire disposizioni analoghe, salvo che ai tavolati continui, indicati nelle prime cinque figure, basterà sostituire tavoloni e puntelli trattenuti dalle armature principali ed operanti sui massi, i quali minacciano o pei quali si tema rovina. Nella figura 125 sono rappresentate, a sinistra la disposizione da adottarsi nel primo caso, ed a destra quella da seguirsi nel secondo caso.

9. **Derivazioni e motori.** — La forza motrice, per mettere in azione le turbine dalla parte di Airole, poteva essere ricavata dal Ticino o dalla Tremola; e si preferì quest'ultimo torrente, che discende dal lago Sella al di sopra dell'ospizio, siccome quello che somministra acque meno torbide, ed ha una pendenza del 20 per 1000. Si giudicò sulle prime che la sua portata potesse raggiungere un minimo di 300 o 400 litri per minuto secondo con un salto di 180 metri, e quindi si calcolò su una forza teorica variabile da cavalli-vapore 720 a 960.

La derivazione presentava difficoltà assai serie; giacchè il torrente corre incassato in una profonda gola, dove enormi valanghe, quasi in ogni inverno, vengono ad ingombrarne il corso. Il signor Favre seppe levarsi da ogni impiccio col trasportare la presa d'acqua in un punto assai elevato ove la Tremola è accessibile per tutta l'annata. Un canale manufatto della lunghezza di 1000 metri, che si diparte dall'edificio di presa, versa le acque nel letto del torrente Chiasso che trovasi lontano dalle valanghe. Per trattenere le arene, le sabbie ed i corpi galleggianti trovasi un serbatoio a fianco del letto di questo torrente sotto la protezione di una roccia isolata; e la differenza di livello fra il pelo dell'acqua in questo serbatoio e le turbine motrici raggiunge appunto i 180 metri costituenti il salto suindicato.

L'acqua limpida passa da questo serbatoio alle turbine mediante una condotta assai resistente formata di tubi di ferro aventi il diametro di metri 0,62. La lunghezza di questa condotta è di 841 metri.

Le motrici, destinate ad utilizzare l'indicata eccezionale caduta, sono di quelle dette *turbine tangenziali*; esse sono in numero di quattro, e furono somministrate dalla rinomata casa Escher, Vyss e Comp. di Zurigo. Hanno il diametro di metri 1,20, numerano 100 palmette, sono della forza di 200 cavalli-vapore, e fanno circa 350 giri per ogni minuto primo. Esse sono fuse in bronzo ed in un so-

pezzo colle loro palmette, giacchè, sotto le straordinarie pressioni cui andrebbero soggette le varie loro parti, il detto metallo resiste assai più della ghisa, del ferro ed anche dell'acciaio.

Ciascuna di queste quattro turbine, mediante un sol gruppo d'ingranaggi conici, comanda un albero motore orizzontale; e fa quest'ultimo 80 giri, mentre quello della turbine ne fa 350.

I risultamenti ottenuti, e che ancora si ottengono, cogli indicati meccanismi non si potrebbero desiderare migliori; ed una sol cosa che ha fatto difetto è il volume d'acqua della Tremola nei giorni di freddo eccessivo ed in quelli di grande siccità. Per brevi intervalli di tempo questo volume si è abbassato fino a 100 litri per minuto secondo.

Ma, in un lavoro di tanta importanza come quello del Gottardo, è necessario che l'azione delle perforatrici e la ventilazione non si trovi diminuita per un sol giorno, e per questo motivo il signor Favre si è deciso, nell'anno 1874, di ottenere un supplemento di forza motrice dal corso del Ticino, quantunque gravi difficoltà si presentassero per ottenere una conveniente derivazione. Il Ticino, al di sopra di Airolo, presenta una leggiera pendenza, scorre fra ripe a scarpa totalmente formate da rocce in scoscendimento, e nell'inverno si trova sottoposto a valanghe di neve e di rocce. Non ostante queste serie difficoltà, fu intrapresa la costruzione di un canale di derivazione della portata di 1 metro cubo per ogni minuto secondo. Si trova esso in gran parte sospeso a fianco di rocce quasi a picco, ed attraversa, con due ponti acquedotti elevati da 25 a 30 metri, i torrenti Albinasca e Tremola. Ha lunghezza di 3 chilometri, e le sue acque, prima di venire alle motrici, passano in un serbatoio posto a 90 metri d'altezza sulle turbine tangenziali, onde depositarvi le torbide.

Essendovi così ad Airolo due derivazioni e due serbatoi di deposito situati ad altezze differenti, una delle quali è precisamente il doppio dell'altra, per ottenere nelle due diverse condizioni un conveniente effetto utile dalle motrici fu imperiosa necessità di ricorrere a due varietà di turbine. E si raggiunse lo scopo in una maniera razionale e rimarchevolmente felice, collocando su ciascun albero delle turbine tangenziali, una seconda turbine con dimensioni calcolate per la caduta e per la portata del canale di derivazione dal Ticino. Queste quattro nuove turbine sono state costrutte e poste in opera dalla stessa casa Escher, Wyss e Comp., sono del sistema Girard e ciascuna di esse ha la sua presa e la sua paratoia speciale.

Quest'addizione realizza un complesso di motrici assai facile a regolarsi, ed assicura per tutto l'anno una sufficiente quantità di forza motrice. L'acqua della Tremola, più limpida di quella del Ticino, è generalmente preferita; ma allorquando il suo volume è inferiore a quello necessario per ottenere un conveniente effetto utile, si fa essa agire solamente su alcuna delle turbine tangenziali, e si adopera l'acqua del Ticino onde porre in azione gli altri motori. Di più, se nella condotta per la derivazione dalla Tremola avviene un guasto qualunque per cui si trovi posta fuori di servizio, si supplisce coll'acqua derivata dal Ticino. Coll'acqua delle due condotte si può sempre disporre, al cantiere di Airolo, di una forza eguale o superiore a 1000 cavalli-vapore.

Dalla parte di Göschenen, la derivazione dell'acqua motrice si è fatta dalla Reuss, la di cui vallata è pure esposta a scoscendimenti di pietre ed a valanghe di neve. Le une e le altre però sono di minor importanza, meno frequenti e di minor durata di quelle che succedono dalla parte di Airolo; e generalmente non presentano altro serio inconveniente, ad eccezione di quello d'intorbidare l'acqua del torrente, e di trasformarla per uno o due giorni in una specie di fango nevoso che ostruisce le griglie e le condotte, e causa delle interruzioni che in nessun modo si possono impedire.

La portata della Reuss, al di sotto d'Andermatt, non è mai inferiore ad 1 metro cubo per ogni minuto secondo, e la sua pendenza è di circa il 10 per 1000. Traendo partito dalle circostanze locali, fu possibile collocare una diga e la relativa presa d'acqua a circa 926 metri a monte dell'imbocco nord della galleria, ed ottenere così una caduta di 85 metri. A 130 metri sotto la diga si trova un serbatoio della capacità di 100 metri cubi, diviso in cinque scompartimenti ed in tre camere dove hanno luogo i depositi delle sabbie e delle arene e dove sono trattiene i corpi galleggianti.

Dall'ultima camera del serbatoio, l'acqua passa in una condotta fatta con tubi di ferro aventi diametro di metri 0,85 e lunga 800 metri, la quale arriva fino al fabbricato in cui sono stabilite le quattro motrici, dando loro un complessivo volume d'acqua di circa 1200 litri per ogni minuto secondo.

Le motrici sono turbine ad asse orizzontale del sistema Girard; il loro diametro è di metri 2,40; e di 160 giri per ogni minuto prima la loro velocità angolare. Queste motrici furono fabbricate e messe in opera dalla rinomata casa B. Roy e Comp. di Vevey. Recentemente si sono impiantate due altre turbine dello stesso sistema, ma

di dimensioni assai maggiori e di circa 5 metri di diametro, destinate a mettere in moto due compressori di potenza assai più grande di quella dei compressori prima esistenti.

Le turbini, mediante ingranaggi, danno moto all'albero orizzontale dei compressori, e fa questo 60 giri mentre le turbini ne fanno 160.

10. Compressori dell'aria. — L'impiego delle turbini e la convenienza di interporre fra queste motrici ed i compressori un sol gruppo d'ingranaggi onde avere la minor perdita possibile di lavoro motore, e notevolmente risparmiare nella spesa di voluminosi apparecchi di trasmissione, fecero nascere l'idea delle pompe di compressione a movimenti celeri senza riscaldamento dell'aria, il quale avrebbe consumato una parte troppo notevole dell'effetto utile.

Per raggiungere l'intento furono impiegate le pompe privilegiate a compressione d'aria del signor Professore Colladon. Con queste pompe si raggiunse lo scopo di paralizzare i nocivi effetti del riscaldamento mediante una doppia combinazione che simultaneamente raffredda il loro involuppo e le loro parti mobili. Il raffreddamento si ottiene con una piccola quantità d'acqua iniettata sui corpi da raffreddarsi allo stato polverulento. Lo stantuffo poi e la sua asta, prolungate dietro il cilindro, sono vuote; ed il loro interno è costantemente rinfrescato mediante un filo d'acqua condotta da un tubo disposto secondo l'asse della parte vuota dell'asta suddetta. Dopo aver circolato nella cavità dello stantuffo, sorte per lo spazio compreso fra il tubo iniettore e la parete interna dell'asta. Il raffreddamento vien reso più completo mediante iniettori, i quali all'aria mescolano dell'acqua allo stato polverulento. Con pompe di questo sistema si possono comprimere grandi volumi d'aria fino ad 8 ed anche fino a 9 atmosfere senza nocivi riscaldamenti.

Come già si disse, le turbini d'Airolo fanno 350 rivoluzioni per ogni minuto primo, ed 80 l'albero motore orizzontale da cui devono ricevere moto i compressori. Onde eguagliare la resistenza e sopprimere l'impiego di volanti, le pompe di compressione dell'aria si sono disposte per terne, parallelamente disposte su una stessa base. La parte di albero orizzontale, posta in faccia alle tre pompe, le mette in moto mediante tre manovelle.

Ad Airolo vi sono cinque gruppi o terne di pompe per comprimere l'aria, e, unitamente alle turbini motrici, sono disposte in un locale lungo 35 metri e largo metri 8,50. Ciascuna turbine può indifferentemente dar moto all'uno o all'altro dei due gruppi fra cui

si trova, od anche ad ambedue contemporaneamente. La Società ginevrina di costruzione fu incaricata della provvista dei cinque gruppi di compressori di cui discorriamo, e la casa Escher, Wyss e Comp. delle trasmissioni.

Trovandosi in moto quattro dei detti gruppi di pompe, è possibile cacciare in galleria in un'ora quasi 1000 metri cubi d'aria alla tensione di 7 a 8 atmosfere, i quali, prima di spandersi nel sotterraneo, sono atti a trasmettere una forza di circa 100 cavalli-vapore nei siti in cui si fa l'escavazione meccanica. Questo volume di aria, dilatandosi ad un'atmosfera, somministra presso a poco 8000 metri cubi per la ventilazione in galleria.

Analoghe disposizioni furono adottate a Gœschenen pei compressori d'aria. Le pompe sono pure disposte in cinque gruppi, e, mentre (come già si disse) le turbine fanno 160 giri per ogni minuto primo, gli alberi motori a tre manovelle, che comandano questi gruppi, ne fanno solamente 60. Questa differenza di velocità, relativamente a quella degli apparecchi d'Airolo, trova compenso in un aumento di volume delle pompe.

I compressori di Gœschenen furono somministrati dai signori Roy e Comp. Sono costrutti col sistema Colladon, e differiscono da quelli di Airolo solamente per qualche particolare nel modo d'iniezione dell'acqua pel raffreddamento.

I compressori del sistema Colladon regolarmente funzionano al Gottardo da più di tre anni, ed in modo incontestabile hanno posto in evidenza la possibilità di comprimere grandi volumi di aria fino alla tensione di 8 atmosfere con pompe a movimento rapido, e di ottenere quest'aria compressa a temperatura che non supera di oltre 12° a 15° centigradi quella dell'aria aspirata.

I compressori a pompa impiegati al Gottardo hanno alcuni notevoli vantaggi su quelli dello stesso genere stati adoperati al Mon-Cenisio. Con una spesa circa tre volte minore e con un impianto ridotto quasi ad $\frac{1}{5}$ o ad $\frac{1}{6}$, danno, come asserisce il signor Colladon, una potenza pressochè doppia di aria compressa.

11. **Ventilazione.** — Gli operai, che contemporaneamente lavorano a ciascun imbocco della galleria, sono mediamente 400; e ciascuno di essi è generalmente munito di una lampada. Una lampada esige un rinnovamento d'aria che si può ritenere quasi eguale a quello necessario per un operaio, ed è ormai provato che occorrono in media 13 metri cubi d'aria pura per ora e per un operaio

colla sua lampada. Pei 400 operai in galleria adunque conviene calcolare su un rinnovamento d'aria di 5200 metri cubi per ora. La quantità di dinamite, consumata in 24 ore pel lavoro di ciascun imbocco, è mediamente di 300 chilogrammi, ossia di chilogrammi 12,50 per ogni ora; e, siccome per una buona ventilazione conviene somministrare 100 metri cubi d'aria dopo l'esplosione di un chilogramma di dinamite, risulta che a motivo dello sparo delle mine occorrono circa 1250 metri cubi d'aria per ora. Segue da ciò che, per ciascuna estremità della galleria e per ogni ora, conviene introdurre metri cubi 6450 d'aria ad un'atmosfera.

Per somministrare l'indicata quantità d'aria, tanto ad Airolò, quanto a Gœschenen, si mantengono in azione quattro gruppi di compressori, i quali sono sufficienti per mandare in galleria ad ogni ora 8000 metri cubi d'aria alla pressione atmosferica. Questo volume, che sarebbe più che sufficiente se l'aria che arriva potesse espellere altrettanta di quella viziata, come già si disse, diventa insufficiente, perchè l'aria viziata resta parzialmente indietro nelle cavità e sotto la volta, ed un certo volume d'aria pura sorte invece dalla galleria; e quindi il bisogno di un aspiratore a campana per ciascun imbocco. Quest'apparecchio, affatto analogo a quello stato adottato a Modane, consta di due campane compagne, sospese alle estremità di un bilanciere, alle quali viene comunicato un moto alternativo d'ascesa e di discesa mediante il giuoco di due macchine a colonna d'acqua. Ciascuna campana pesca in un recipiente anulare pieno d'acqua; la parte centrale di questo recipiente è munita di valvole che si aprono dal basso all'alto, ed anche il fondo di ciascuna campana è fornito di valvole apertisi al di fuori. L'innalzamento di una campana è seguito dalla chiusura delle valvole poste sul suo fondo, si ottiene una rarefazione dell'aria che trovasi sotto di essa, si aprono le valvole situate nella parte centrale del recipiente pieno d'acqua, e così ha luogo un'aspirazione dal tubo sospeso alla volta della galleria. Quando la macchina funziona, il bilanciere fa dieci oscillazioni doppie per ogni minuto primo, e le campane hanno dimensioni così grandi da poter aspirare 500 metri cubi per ogni minuto primo e 30000 metri cubi per ogni ora. Questa enorme quantità d'aria vien sostituita, in parte dalli 8000 metri cubi somministrati dai compressori, mentre altri 22000 metri cubi per ora devono giungere dal di fuori, attraversando la parte di galleria già ultimata.

12. **Perforatrici.** — Come già si disse al numero 8, cinque si-

stemi di perforatrici già furono utilmente adoperati al traforo del Gottardo, ossia la Sommeiller, le Dubois e François, le Mac Kean, le Ferroux e le Turrettini. Nel numero 6 già si diede un cenno delle perforatrici Sommeiller, ed altrettanto crediamo ora utile di fare per gli altri quattro sistemi.

Perforatrice dei signori Dubois e François. — Questa perforatrice privilegiata è più semplice di quella Sommeiller, ed una prima semplificazione si trova nella soppressione del piccolo motore ad aria compressa. Il cassetto distributore riceve il suo movimento di va e vieni dall'azione alternativa dell'aria compressa, che lo spinge in due differenti versi mediante due piccoli stantuffi ineguali o col sussidio del porta-scarpello, il quale, in ogni regresso, apre una valvola che determina l'avanzamento del cassetto.

Due piccoli stantuffi, collocati ai fianchi del cilindro in cui si muove lo stantuffo percussore, sono alternativamente sollevati dall'impulsione dell'aria compressa operante sulle due facce dello stantuffo stesso. In questo movimento alternativo, i detti piccoli stantuffi operano su una leva a due braccia, il cui movimento oscillatorio produce la rotazione del porta-scarpello mediante una ruota a denti di sega che lo comanda ed un nottolino, il cui movimento dipende da quello delle leve. L'avanzamento dell'intero sistema percussore, a misura che il foro si affonda, si regoia con una grossa vite col suo asse parallelo a quello del cilindro e che si muove a mano.

La perforatrice Dubois e François, oltre di essere più semplice di quella Sommeiller, ha i notevoli vantaggi di essere costituita da organi meno fragili, di essere più corta e di minor peso, e di consumare, a parità d'effetti, una minor quantità d'aria compressa. Per contro ha lo svantaggio di non essere perfettamente automatica in tutti i suoi movimenti.

Perforatrice Mac Kean. — Poco tempo dopo l'adozione della perforatrice Dubois e François, acquistò in Inghilterra grande rinomanza quella privilegiata dell'inventore americano signor Mac Kean; e, in seguito ad alcune esperienze state fatte in Svizzera, il signor Favre, ponendo alcune condizioni per l'accettazione, non esitò d'ammettere questa macchina nella perforazione del Gottardo. Essa differisce totalmente da quelle di cui si diede un breve cenno; il cassetto di distribuzione dell'aria compressa è cilindrico, ed il meccanismo che lo fa muovere è assai semplice.

La rotazione dello stantuffo percussore e dello scarpello si ottiene convenientemente utilizzando il moto di va e vieni dello stantuffo

stesso; e servono a raggiungere lo scopo due ruote con denti elicoidali assai inclinati. Una di queste ruote è fissata al gambo dello stantuffo, l'altra ad un piccolo albero speciale, e sono disposte in modo da formare un ingranaggio. Partecipando la prima ruota al moto di va e vieni dello stantuffo percussore, la pressione de' suoi denti elicoidali contro quelli della seconda ruota imprimerebbe a quest'ultima ed al suo albero un movimento alternativo rotatorio in due contrari sensi. Siccome però l'albero della seconda ruota porta un rocchetto contro i cui denti agisce un nottolino d'arresto, avviene che, avanzando lo stantuffo percussore, gira la seconda ruota elicoidale col suo albero, e passa sotto il nottolino un dente del rocchetto. Quando invece lo stantuffo percussore rincula, il detto nottolino d'arresto impedisce la rotazione della seconda ruota elicoidale, e promuove invece la rotazione del cilindro percussore e dello scarpello.

In quanto all'avanzamento dell'apparecchio percussore, il signor Mac Kean ha mantenuto una vite parallela al cilindro motore; e, per ottenere un avanzamento automatico, ha saputo trar partito del movimento rotatorio alternativo dell'albero del cassetto. È applicata alla vite una ruota a denti che un nottolino fa rotare di uno o due denti in ciascun moto rotatorio del cassetto.

Quest'apparecchio permette di operare con celerità molto maggiore di quella che si può raggiungere con quelli di cui già si fece cenno. È meno lungo, occupa minor spazio e riesce meno pesante delle perforatrici Sommeiller e di quelle Dubois e François; cosicchè senza disagio si può trasportare e mettere in azione. Alcune macchine di questo sistema, operanti su affusti speciali, hanno reso dei segnalati servizi pei lavori d'ingrandimento del Gottardo. Le prime perforatrici di Mac Kean state mandate al Gottardo presentavano l'inconveniente di adattarsi male agli affusti adoperati all'avanzata, all'allargamento in calotta ed allo strozzo; ma nell'anno 1875 l'inventore ha lodevolmente superata anche questa difficoltà.

Perforatrice del signor Ferroux. — La perforatrice stata immaginata dal signor Ferroux, già capo officina a Modane, si deve presentemente annoverare fra le migliori. In questa macchina, precisamente come in quelle di Sommeiller, si trovano ben distinti il sistema motore ed il sistema percussore.

Il sistema motore venne semplificato, tanto pel modo con cui è distribuita l'aria compressa allo stantuffo motore, quanto pel modo

con cui è messo in rotazione l'albero a cui questo stantuffo deve dar moto.

Il meccanismo per la rotazione dello scarpello intorno al suo asse è presso a poco come quello della perforatrice Sommeiller.

L'avanzamento del sistema percussore costituisce quanto vi è di essenziale e di nuovo nella perforatrice privilegiata del signor Ferroux. È annesso, alla parte posteriore del cilindro percussore, un cilindro vuoto, il quale serve a due uffizi: da condotto dell'aria compressa per introdurla nella camera del cassetto di distribuzione del sistema percussore; da propulsore del cilindro percussore stesso verso la fronte d'attacco, giacchè questo cilindro vuoto è munito alla sua estremità di uno stantuffo sul quale opera l'aria compressa. Questo stantuffo e con esso gran parte del cilindro vuoto suddetto, che gli serve da gambo, sono rinchiusi in un secondo cilindro fissato alla intelaiatura della macchina e posto dietro il cilindro percussore.

Per siffatta disposizione di cose, il sistema percussore ha una continua tendenza ad avanzare, ma è trattenuto da un arresto che va ad urtare contro i risalti di dentiere fatte sulle facce superiori dei pezzi longitudinali dell'intelaiatura della macchina. Il porta-scarpello è munito di un bordo, il quale sollevando, e facendo sortire dalla dentiera il detto arresto, rende libero l'avanzamento del cilindro percussore tuttavolta che questo è necessario per l'affondarsi del foro che lo scarpello va aprendo. Onde evitare il rinculo del cilindro percussore sotto l'azione della percossa, il signor Ferroux ha pensato di collocare nel cilindro vuoto, di cui già si è parlato, due piccoli stantuffi perpendicolari alla sua lunghezza, ed i quali, sotto l'azione dell'aria compressa, fanno da arresti contro le pareti dei pezzi longitudinali dell'intelaiatura, muniti per questo scopo di dentiere sulle due facce interne.

Il regresso del sistema percussore, allorquando la macchina si trova all'estremità della sua corsa, si fa chiudendo il robinetto che serve all'introduzione dell'aria compressa nel propulsore, e portandola invece ad agire nel cilindro, nel quale può esso scorrere, sulla faccia opposta dello stantuffo di cui il propulsore stesso è munito.

Le perforatrici del signor Ferroux sono reputate migliori di quelle dei signori Dubois François per facilità di manovre e per velocità d'avanzamento. Hanno però gl'inconvenienti di maggior consumo d'aria compressa, di essere più lunghe e di maggior peso.

Perforatrice Turrettini. — Questa macchina privilegiata ha il suo stantuffo percussore composto di due parti, le quali si separano

di qualche poco prima dell'urto dello scarpello e danno così più di elasticità al colpo.

L'urto stesso dello scarpello determina il cangiamento di distribuzione ed il regresso del sistema percussore; e si evita così il grave inconveniente, che non di rado si verifica nella maggior parte delle perforatrici, di colpi imperfetti risultanti da un cangiamento anticipato di distribuzione.

Per la rotazione dello scarpello e pel giuoco del cassetto di distribuzione, si hanno combinazioni riconosciute utili per la loro efficacia e per la loro durata.

Finalmente si ottengono con un procedimento affatto nuovo l'avanzamento progressivo automatico del sistema percussore ed il suo regresso; giacchè, utilizzando il principio della reazione dell'aria compressa, si può ottenere l'uno o l'altro dei due effetti col solo giuoco di un robinetto. I meccanismi per l'avanzamento automatico del sistema percussore lungo le longarine dell'intelaiatura, furono sempre quelli che lasciarono qualche cosa da desiderare nella maggior parte delle perforatrici finora state inventate; e pare che il signor Turrettini meglio degli altri abbia superato questa difficoltà. Se l'apparecchio percussore, munito del suo scarpello, trovasi indietreggiato sulle longarine ad una certa distanza dalla fronte di attacco, al momento in cui si apre il robinetto dell'aria compressa il cilindro percussore avanza rapidamente da sè finchè lo scarpello raggiunge la roccia e, a partire da questo momento, continua a progredire di una quantità esattamente eguale all'affondamento operato dallo scarpello.

Questa macchina ha minor lunghezza, minor volume e minor peso delle perforatrici dei signori Dubois e François e del signor Ferroux, e, a parità di lavoro, consuma una minor quantità d'aria compressa.

13. Locomotiva ad aria compressa. — Per fare gli occorrenti trasporti dall'interno all'esterno della Galleria del Gottardo, a ciascun imbocco si impiegano due locomotive ad aria compressa.

La più antica di queste consiste in una locomotiva ordinaria della forza di dodici cavalli-vapore, alimentata coll'aria compressa immagazzinata in un serbatoio cilindrico del volume di 16 metri cubi e portato dalla locomotiva stessa. Questo serbatoio si alimenta con una presa sulla condotta principale dell'aria compressa.

L'altra locomotiva, d'impiego più recente, fu fabbricata al Creusot; e consiste in un serbatoio della capacità di 7 metri cubi, atto a

resistere ad una pressione di 14 atmosfere. A questo serbatoio sono uniti due cilindri motori, i quali operano ad una media pressione di cinque atmosfere. La distribuzione dell'aria compressa è regolata da un apparecchio automatico stato inventato dal signor Ribourt, ingegnere addetto ai lavori del Gottardo.

Per avere una provvista regolare d'aria compressa a quattordici atmosfere, il signor Favre ha fatto eseguire serbatoi speciali, e, nel 1875, ha stabilito in ciascuno dei due cantieri di Airolo e di Gœschenen quattro compressor del sistema Colladon, stati fabbricati dalla Società ginevrina di costruzioni, ciascuno dei quali è capace di comprimere, a quattordici atmosfere e senza sensibile riscaldamento, 12 metri cubi d'aria atmosferica per minuto. Questi compressor si trovano nei locali stessi in cui si trovano riuniti i motori ed i compressor di cui si è parlato ai numeri 9 e 10, e sono post in moto dai motori stessi.

14. Osservazioni. — Al poco stato detto sui lavori della gran Galleria del Gottardo, crediamo conveniente di aggiungere alcunchè sulle gravi difficoltà contro le quali ha dovuto lottare l'Impresa assuntrice della grand'opera.

I lavori, per le derivazioni necessarie ad ottenere la voluta quantità di forza motrice, furono fatti in condizioni affatto eccezionali, superando straordinari ostacoli principalmente verso l'imbocco sud, in località esposte a frane, a scoscendimenti, a valanghe e ad ogni sorta di quei disastri, a cui si va incontro nelle più orride regioni alpestri.

I lavori in galleria, principalmente dalla parte di Airolo, presentarono incidenti eccessivamente gravi. Gran variabilità nelle formazioni da attraversarsi; numerosi crepacci, dai quali sortivano fango ed arene che rapidamente invadevano l'escavazione; e soprattutto infiltrazioni di un'abbondanza straordinaria. I getti d'acqua che si manifestarono alla volta e sui fianchi della parte sud della galleria, la quale non ha che un millesimo di pendenza, per ben diciotto mesi trasformarono l'avanzamento, l'ingrandimento e lo strozzo in un vero canale, sul fondo del quale era imperiosa necessità cercare gli sterri, collocare e mantenere i binari di circolazione e lavorare per le escavazioni inferiori. La portata di questo canale era da 200 a 230 litri per minuto secondo, ed in verità qualche cosa di straordinario, di non mai visto e di ben imbarazzante nell'avanzata avente meno di 7 metri quadrati di sezione.

Non ostante questi ostacoli, i lavori pel traforo del Gottardo su-

birano qualche rallentamento, ma giammai furono interrotti. Che anzi, essendo presentemente cessate alcune difficoltà, procedono assai celeremente, essendosi persino potuto ottenere nell'ultima settimana del passato ottobre un avanzamento medio giornaliero di qualche poco maggiore di metri 7.

15. Principali particolarità per cui i lavori della Galleria del Gottardo differiscono da quelli della Galleria del Fréjus. —

Senza parlare delle differenze causate dalle diversità di circostanze locali e dalla natura dei terreni incontrati nella perforatrice, per cui la Galleria del Gottardo riesce assai più difficile di quella del Moncenisio, accenneremo soltanto a quelle differenti particolarità, le quali hanno relazione coi meccanismi e colla condotta dei lavori in galleria.

Essendosi intrapresa la costruzione della Galleria del Gottardo dopo il compimento della Galleria del Fréjus, era ben naturale che si traesse partito di tutte le osservazioni e di tutte le esperienze state fatte in quest'ultima, che si tenesse conto di tutti i risultati ottenuti e delle conseguenze che ne emergevano per migliorare i sistemi dei meccanismi, e che, ritenendo quanto trovavasi non suscettivo di ulteriori perfezionamenti, si introducessero nel resto tutte quelle varianti che avrebbero potuto condurre ad accelerare l'esecuzione dei lavori e ad ottenere il miglior effetto col minor dispendio possibile. Il traforo del Moncenisio costituiva un'opera nuova nel suo genere, che non aveva ancora avuto precedenti, e nella quale per conseguenza tutto si doveva creare ed incominciare senza poter trar partito degli utili suggerimenti dell'esperienza, e quindi sul bel principio era persino lecito di poter dubitare della sua riuscita. Il traforo del Gottardo invece, senza cessare di essere un'opera grandiosa, non ha per sé il pregio della novità; la strada da seguirsi per condurla a compimento è per essa nettamente tracciata e nessuno può dubitare del suo completo successo. La costruzione della Galleria del Fréjus fu un'utile scuola da cui si è potuto apprendere di quali potenti forze bisogna disporre, quali macchine bisogna impiegare, e quali disposizioni conviene adottare per riuscire nella costruzione delle grandi gallerie a foro cieco; ed infatti vediamo ripetuti alla Galleria del Gottardo tutti i provvedimenti stati adottati alla Galleria del Moncenisio, come derivazioni e canali per forza motrice, motori, macchine per comprimere l'aria, serbatoi e condotte per questa, ventilatori e perforatrici. Però bisogna ammettere che molti dei

meccanismi impiegati al Gottardo, come sono i compressori e le perforatrici, si devono riguardare come migliori di quelli che servirono pel Moncenisio, e che presentano dei reali vantaggi, sia pel piccolo spazio in cui si trovano raccolti, sia pei buoni effetti che con essi si ottengono. La locomotiva ad aria compressa pel tiro dei grandi vagoni di trasporto, ed i monta-carichi per elevare i materiali che si devono portare ai cantieri pei lavori d'avanzamento ed in calotta, costituiscono due novità che non si trovavano nella Galleria del Fréjus. Convien però notare che soltanto la prima di queste novità sarebbe stata utile in questa galleria, e che la seconda non era punto applicabile a motivo delle disposizioni state adottate nell'ordinamento dei lavori interni.

Una differenza essenziale fra i lavori della Galleria del Fréjus e quelli della Galleria del Gottardo sta nell'ordinamento dei cantieri di sterro, ossia nel sistema d'attacco. In quella si è mantenuta l'avanzata col suo suolo quasi al livello del pavimento della galleria ultimata e si è così seguito un procedimento nuovo, creduto conveniente ed utile per la perforazione meccanica; in questa invece si lavora coll'avanzata in alto, seguendo il metodo belga per l'escavazione delle gallerie nella roccia. Non è ancora ben deciso quale di questi due metodi sia migliore e quale effettivamente conduca a migliori risultati. I distinti Ingegneri che presero parte al traforo del Moncenisio sostengono che il metodo da essi stato adottato dev'essere preferito a quello che si segue al traforo del Gottardo; e d'avviso affatto contrario sono molti degli Ingegneri che hanno avuto e che hanno rapporti colla condotta di quest'ultimo importante lavoro. L'Ingegnere J. Kauffmann ha pubblicato nell'anno 1875 una memoria sui risultamenti comparativi di questi due metodi di perforazione entro rocce analoghe a quelle del Gottardo, e conchiude in favore del metodo belga seguito dal signor Favre.

Secondo il nostro avviso, sono indiscutibili i vantaggi del metodo stato adoperato al Fréjus su quello che si segue al Gottardo: e l'aver con una livelletta unica la diretta comunicazione fra l'esterno e l'interno della galleria fino all'estrema fronte d'attacco; ed il rendere possibile il pronto deflusso dell'acqua nella parte bassa della galleria con facilità d'introdurla nel definitivo canale di scolo, dove la galleria è ultimata. Mantenendo nel basso la galleria di avanzamento, si evitano i trasbordi per far salire utensili, macchine e materiali per armature dal pavimento della galleria definitiva a quello dell'avanzata, e viceversa per far discendere quanto deve

essere portato esternamente; non è più necessario il monta-carico, e si ha quindi il guadagno delle manovre richieste dal suo trasporto; insomma, tutte le operazioni che hanno rapporto coi lavori dell'avanzata, lavori che sono indubitatamente i più importanti e quelli che esigono maggior attività, si possono compiere con maggior facilità e regolarità, nel modo che si presenta il più naturale e senza imbarazzi.

Nè si può opporre che il metodo stato seguito al Fréjus, meno di quello che si adotta al Gottardo, prestasi alla perforazione meccanica. Col primo metodo si possono utilmente adottare le perforatrici: all'avanzata inferiore; ad una seconda avanzata superiore da mantenersi colla sua fronte d'attacco ad una conveniente distanza dalla fronte d'attacco di quella inferiore; all'ingrandimento di quest'ultima avanzata, ossia al lavoro in calotta. Col secondo metodo invece può riuscire vantaggiosa la perforazione meccanica: alla fronte d'attacco dell'avanzata; all'escavazione della calotta; all'abbattimento dello strozzo. Tanto coll'uno quanto coll'altro procedimento adunque i cantieri in cui facilmente ed utilmente si può ricorrere alla perforazione meccanica sono essenzialmente tre; cosicchè sotto questo riguardo i due metodi presentano presso a poco identici vantaggi. Al traforo del Fréjus si applicarono, negli ultimi tempi, le perforatrici anche all'ingrandimento. Atteso la poca larghezza delle fronti d'attacco nel passare dalla galleria d'avanzamento a quella d'ingrandimento, crediamo però che questa disposizione non possa essere molto vantaggiosa, e per questo non la abbiamo citata nella numerazione dei cantieri in cui si può utilmente eseguire la perforazione meccanica. Del resto anche al Gottardo si potrebbe mettere un ingrandimento fra i lavori dell'avanzata e quelli in calotta, e allora le partite sarebbero ancora pareggiate.

Se la roccia è talmente resistente da richiedere pochi puntellamenti e da non aversi a temere la caduta di massi staccati, tanto coll'uno quanto coll'altro degli indicati sistemi si può, quando lo si creda conveniente, eseguire l'intera escavazione e procedere dopo al suo rivestimento incominciando dai piedritti e venendo al volto. Se invece la roccia in cui si lavora manifesta indizi di possibili scoscendimenti, nel qual caso è prudente consiglio di premunirsi contro le eventuali disgrazie che possono succedere dall'alto, è necessario di procedere prima alla costruzione del volto per quindi costrurre i piedritti in sottomurazione; e questa disposizione di

lavoro facilmente si può mettere in pratica non solo nel sistema di perforazione adottato al Gottardo, ma anche in quello stato seguito al Fréjus. Infatti, appena ultimato lo scavo in calotta, si può benissimo impostare il vólto sui due massi che si lasciano a dritta ed a sinistra della galleria d'ingrandimento, e quindi a poco a poco procedere all'abbattimento dei massi medesimi onde elevare i piedritti per sottomurazione.

Un solo caso, nel quale il metodo che si segue al Gottardo può forse riuscire più vantaggioso di quello stato adottato al Moncenisio, si ha quando, nell'escavazione di una lunga galleria, si passa dalla roccia ad una formazione tenera in cui bisogna rinunciare alla perforazione meccanica ed all'impiego delle mine. Il metodo belga permette, in presenza di queste formazioni (purchè non siano di quelle da annoverarsi fra i terreni mobili), di risparmiare notevolmente nelle armature e nei puntellamenti; e, dovendosi rinunciare alla perforazione meccanica, cessa il grande vantaggio che si aveva al Moncenisio col mantenere il pavimento dell'avanzata in continuazione di quello della galleria definitiva. Cosicchè, se per l'indicata circostanza dell'imprevvisto incontro di un terreno tenero si dovesse modificare il sistema del Fréjus coll'abbandonare l'avanzata inferiore e col sostituirvi l'avanzata superiore, di necessità si andrebbe incontro all'inconveniente della perdita del tempo necessario per spingere questa fino alla fronte già raggiunta da quella. Quest'inconveniente però non potrà mai essere di molto rilievo se i cantieri di sterro delle avanzate inferiore e superiore si manterranno a non grande distanza l'uno dall'altro.

Conchiudendo in ordine alla convenienza relativa dei due sistemi d'attacco stati seguiti al Moncenisio ed al Gottardo, crediamo che il primo meglio del secondo si adatti alla perforazione meccanica, e che l'averlo abbandonato sia, se non la principale, almeno una delle cause che influirono e che influiscono sul ritardo dei lavori in calotta, di abbattimento dello strozzo e di costruzione delle mura- ture in confronto dei progressi dell'avanzata della galleria del Gottardo.

PERFORATRICI A PERCUSSIONE

I. Notizie storiche. — Le perforatrici a percussione meccanica, destinate a praticare i fori da mina nelle rocce, sono macchine che, per la grande loro utilità, furono in breve tempo portate dal primo loro stadio d'invenzione a quello non meno difficile di perfezionamento; e, avendo già parlato delle lunghe gallerie a foro cieco, la possibilità della cui esecuzione molto deve all'utile ritrovato delle perforatrici, crediamo conveniente di qui darne un breve cenno. Incominceremo col toccare le macchine di questo genere che furono ideate per le prime, ed in seguito minutamente descriveremo, colla scorta di regolari disegni, quelle più perfette state adoperate nella grande Galleria del Fréjus e quelle che attualmente si adoperano nel grandioso lavoro della Galleria del Gottardo. Dichiaro poi che nella compilazione di questo nostro lavoro ci furono in gran parte di guida la relazione della Direzione tecnica del traforo delle Alpi Cozie, l'interessante relazione a stampa del signor Ingegnere Pietro Fautrier di Como, stata presentata come dissertazione di laurea alla Scuola d'Applicazione degli Ingegneri di Torino nell'anno 1868, i rapporti del Consiglio Federale Svizzero sui lavori del Gottardo, il commendevole periodico tecnico l'*Ingegneria civile e le Arti industriali* diretto dal signor Ingegnere Giovanni Sacheri ed altri periodici stranieri.

Perforatrice Cavé. — Per quanto ci consta, fu il signor Cavé il primo ad ideare un apparecchio a percussione per praticare i fori da mina nelle rocce, e, fin dall'ottobre dell'anno 1851, domandò un brevetto di privativa per una macchina di questo genere da mettersi in moto coll'aria compressa. Questa macchina essenzialmente consisteva in un cilindro contenente uno stantuffo, sulle cui due facce alternativamente veniva ad operare la pressione dell'aria, determinando così un moto alternativo di va e vieni ad uno scarpello percussore portato dal gambo dello stantuffo stesso.

Quest'apparecchio elementare del signor Cavé non aveva organi automatici per la distribuzione dell'aria compressa, e per tutti gli altri movimenti indispensabili in una buona perforatrice, quali sono quello di rotazione dello scarpello e quello d'avanzamento della macchina a misura dell'affondarsi dei fori da mina. Di tutto era incaricato l'operaio stesso applicato alla macchina, il quale, per distribuire l'aria compressa, convenientemente doveva maneggiare una apposita chiave; cosicchè la rapidità dei colpi battuti dallo scarpello contro la roccia era in totale suo arbitrio.

La macchina del signor Cavé, quantunque troppo semplice ed affatto primitiva, pure servì a porre alcune delle basi principali, sulle quali è fondata la costruzione delle buone perforatrici. Vogliam dire la sostituzione di uno stantuffo con scarpello al *fioretto* ed alla *barra da mina*, e la sostituzione della forza elastica dell'aria compressa alla forza muscolare del braccio del minatore. Affinchè poi lo stantuffo, nel suo moto alternativo entro il cilindro, non urtasse contro i fondi di questo, assai opportunamente il signor Cavé dispose le luci d'emissione del fluido un po' più lontane che quelle d'ammissione dai fondi stessi; e così ottenne di aver sempre imprigionata, fra questi e le facce dello stantuffo, una certa quantità di aria che, non potendo in alcun modo sfuggire, sotto l'azione dell'urto finiva per comprimersi di tanto da servire la sua forza elastica ad ammorzare completamente la velocità del sistema percussore.

Perforatrice Jenks. — Una perforatrice, che venne dopo quella di Cavé e che figurava nell'anno 1853 all'esposizione di New-York, è quella stata ideata dall'Ingegnere Jenks di Boston. Questa macchina era destinata a scavare contemporaneamente parecchi fori da mina, e constava essenzialmente di un bilanciere di ghisa imperniato su un albero verticale che si poneva sull'asse della galleria nella quale dovevasi lavorare. A questo bilanciere erano uniti a snodo alcuni scarpelli che si rivolgevano verso la fronte d'attacco

e che, opportunamente guidati nelle oscillazioni del bilanciere, battevano la roccia. Il moto del bilanciere si otteneva mediante una macchina a vapore. Questa macchina mancava di tutti i requisiti che dovevano avere, e che in seguito si cercarono nelle moderne perforatrici. Ragione per cui fu tosto abbandonata senza ricevere utili applicazioni.

Perforatrici Colladon. — Mentre si facevano questi primi tentativi sulla perforazione meccanica delle mine, si trattò della gigantesca impresa del traforo delle Alpi Cozie; molti si accinsero a trattare il problema con serietà corrispondente alla sua importanza; e fra questi merita di essere lodevolmente citato il signor Ingegnere Colladon, distinto professore di meccanica a Ginevra. Nel giugno dell'anno 1855, egli prendeva in Francia un brevetto di privativa per l'assieme di un apparecchio destinato non solo a scavare i fori da mina, ma anche a ventilare ed a regolare la temperatura nelle gallerie. La forza che egli proponeva per mettere in moto le sue perforatrici era somministrata dall'aria compressa da alcune pompe col mezzo di un motore idraulico, oppure con una macchina a vapore. Due anni dopo, lo stesso Colladon chiedeva al Governo Sardo un attestato di privativa per altre macchine atte a perforare le rocce.

Il lato buono dei ritrovati del signor Colladon consisteva principalmente nel far servire alla ventilazione in galleria l'aria stessa che già aveva operato sugli organi delle perforatrici, giacchè questa idea, quantunque realizzabile anche colle perforatrici Cavé, pure dopo Colladon soltanto diede un grand'impulso alla risoluzione dell'arduo problema dell'aprimiento delle lunghe gallerie a foro cieco. Del resto pare che, per quanto ha riguardo alle perforatrici, non siano state giudicate di grande importanza pratica le proposte Colladon, giacchè in breve furono poste in oblio, nè più riprodotte e perfezionate.

Perforatrice Bartlett. — Contemporaneamente a Colladon, l'Ingegnere Bartlett prendeva un attestato di privativa per una perforatrice mossa dal vapore, perforatrice che conteneva il germe di tutte quelle che in seguito sono venute, e di cui ecco succintamente la descrizione.

Entro un cilindro a vapore, munito del suo cassetto di distribuzione, si muoveva uno stantuffo, che si può chiamare *stantuffo motore*, la cui asta attraversava ambo i coperchi del cilindro stesso. L'asta posteriore imprimeva, mediante una manovella, un moto di rotazione ad un albero orizzontale sul quale si trovavano: l'eccen-

trico pel cassetto di distribuzione; una ruota conica; un secondo eccentrico per l'avanzamento della macchina in azione; e finalmente un volante regolatore. L'asta anteriore trasmetteva direttamente il suo moto di va e vieni ad un secondo stantuffo, che si può dire *stantuffo propulsore*, contenuto in un altro cilindro aperto, avente il suo asse sul prolungamento di quello del primo. In questo secondo cilindro trovavasi un altro stantuffo sempre separato dal secondo da un certo volume d'aria, col suo gambo armato di scarpello e che per conseguenza può essere chiamato *stantuffo percussore*. Verso l'estremità posteriore del secondo cilindro eravi un foro costantemente aperto; e poco al di là della sua metà esisteva un secondo foro con valvola aprentesi dall'interno all'esterno. L'asta dello stantuffo percussore aveva sezione quadrata ed attraversava liberamente due sostegni ed una ruota dentata che stava fra essi e che, mediante organi di trasmissione, dipendeva dalla ruota conica che abbiamo detto trovarsi sull'albero orizzontale cui dava moto il gambo posteriore dello stantuffo motore.

Il giuoco della perforatrice Bartlett era semplicissimo, ed ecco in che consisteva. Immaginando lo stantuffo motore all'estremità della sua corsa retrograda, si verificavano questi fatti: lo stantuffo propulsore doveva pur essere all'estremità della sua corsa retrograda; lo stantuffo percussore si trovava al di qua del mezzo del cilindro, in cui si muoveva in modo da escludere l'apertura con valvola; e nello spazio intercetto fra i due stantuffi di questo stesso cilindro regnava la pressione atmosferica esterna in grazia del foro costantemente aperto. Al primo avanzarsi dello stantuffo motore, di egual quantità inoltravasi lo stantuffo propulsore, e tosto copriva l'ultimo indicato foro. Da quest'istante l'aria racchiusa fra i due stantuffi propulsore e percussore cominciava a comprimersi fino al punto in cui la sua forza elastica, vincendo le resistenze passive del portascarpello, lo spingeva innanzi oltre l'apertura munita di valvola ed a battere contro la roccia.

Nel mentre aveva luogo la percossa, una parte dell'aria compressa sfuggiva per l'ultima indicata apertura, ed i due stantuffi propulsore e percussore si ponevano alla minima distanza fra loro quando quest'ultimo era in contatto della roccia. Retrocedendo lo stantuffo motore e con esso lo stantuffo propulsore, nello spazio compreso fra quest'ultimo e lo stantuffo percussore facevasi il vuoto. Quest'ultimo, respinto indietro dalla prevalente pressione atmosferica, oltrepassava l'apertura con valvola, e, allorquando lo stantuffo mo-

tore giungeva all'estremità della sua corsa retrograda, smascheravasi l'apertura senza valvola, per cui si precipitava l'aria atmosferica nello spazio intercetto fra li due stantuffi propulsore o percussore, e così ristabilivasi l'equilibrio fra l'interno e l'esterno.

Identici periodi si verificavano ad ogni oscillazione completa dello stantuffo motore; e la macchina era fatta in modo da battere da 200 a 300 colpi per ogni minuto primo.

Ad ogni colpo dello scarpello, in grazia degli organi di trasmissione fra la ruota conica, che abbiamo detto trovarsi sull'albero orizzontale messo in moto dal gambo posteriore dello stantuffo motore, e fra la ruota dentata attraversata dalla parte del porta-scarpello con sezione quadrata, quest'ultima ruota e quindi anche lo stantuffo percussore, e con esso lo scarpello, dovevano necessariamente girare di una frazione di giro sul proprio asse. Questo moto rotatorio è della massima importanza per ottenere che lo scarpello non s'arresti nel foro che va praticando, e indubitatamente costituisce un vero titolo di merito all'inventore della perforatrice che stiamo descrivendo.

Un'altra condizione da realizzarsi nelle buone perforatrici è quella dell'avanzamento del sistema percussore a misura dell'affondamento dei fori in corso di esecuzione; avanzamento che non deve essere costante per uno stesso numero di corse dello stantuffo motore, ma unicamente subordinato al progresso che fa lo scarpello dipendentemente dallo stato della sua punta percuziente e dalla natura della roccia in cui man mano va penetrando. Or bene, sotto questo punto di vista la perforatrice Bartlett non era all'altezza della sua missione, giacchè l'eccentrico montato sull'albero orizzontale posto in azione dal gambo posteriore dello stantuffo motore non poteva dar altro che un avanzamento progressivo costante della macchina.

La perforatrice Bartlett fu presentata alla Commissione stata incaricata dal Governo Sardo delle prove dei meccanismi proposti pel traforo delle Alpi Cozie, e venne sperimentata prima a Chambéry e quindi alla Coscia. Da questi esperimenti, stati fatti coll'aria compressa anzichè col vapore, risultò secondo il rapporto della Commissione: che questa macchina poteva sostituire vantaggiosamente i metodi manuali nel praticare i fori da mina, imitando l'operaio minatore in molte delle sue funzioni, ed avendo su esso una grande superiorità tanto per l'energia quanto per la rapidità dei colpi, giacchè il lavoro prodotto da essa in un determinato tempo, in quanto alla sola perforazione, valeva circa dieci volte quello otte-

nuto da due minatori; che però l'apparecchio non era ancora a tal punto da costituire una macchina perfetta; e che credevasi non sufficiente ai bisogni della grande impresa del traforo del Moncenisio. Ed infatti la perforatrice Bartlett non si poteva seriamente adottare tale e quale venne ideata dal suo inventore; costrutta per essere animata dal vapore a bassa pressione, non poteva operare convenientemente coll'aria compressa alla pressione stabilita di sei atmosfere; e, mancando in essa il requisito dell'avanzamento del sistema percussore a seconda della legge qualsiasi, secondo la quale andava affondandosi il foro da mina, era d'uopo apportare delle modificazioni così radicali ai suoi meccanismi da creare, traendo, ben inteso, partito dei preziosi dati ottenuti dalle esperienze instituite, una nuova perforatrice adatta alle imperiose esigenze della grandiosa impresa del traforo delle Alpi Cozie. Di questo studio, con ottimo successo, s'incaricò l'Ingegnere Sommeiller, al cui genio meccanico è dovuta la composizione della prima perforatrice che diede veramente risultati di pratica utilità, che senza interruzione fu adoperata nella gigantesca impresa del traforo del Fréjus, e che ancora al giorno d'oggi rende segnalati servizi nella Galleria del Gottardo.

Bartlett si occupò di altri apparecchi per praticare i fori da mina, ed alla fine del giugno dell'anno 1857 chiese un brevetto di privativa per un aeromotore che faceva girare un albero orizzontale, sul quale, oltre l'eccentrico pel cassetto di distribuzione, erano montati due volanti regolatori. Due tiranti motori, attaccati mediante manovelle alla estremità dell'albero, mettevano in moto degli scalpelli condotti da apposite guide.

Perforatrice Sommeiller. — L'autore di questa ingegnosa macchina, di cui già venne dato un breve cenno in questo volume (al numero 6 dell'argomento sulla *Costruzione delle grandi gallerie a foro cieco*), e che minutamente verrà descritta col sussidio di regolari disegni, si propose e si mise in grado di ottenere:

1° Una tal forza di percussione da scavare i fori da mina colla voluta rapidità, guadagnando colla frequenza dei colpi tutto quello che conveniva perdere nella loro energia, onde non oltrepassare, nei pezzi esposti agli urti quel limite di elasticità oltre il quale non avrebbero potuto sufficientemente resistere;

2° Una tal combinazione di meccanismi da risultare automatici i movimenti di avanzamento, di regresso e di rotazione dello scarpello, non che quello di progressione dell'intero sistema percussore a misura dell'affondarsi dei fori da mina;

3° Un tale complesso di volume, peso e forma, da aversi una macchina di assai facile maneggio, solida, non soggetta a guasti, ed in cui le riparazioni non dovessero essere troppo frequenti.

L'Ingegnere Sommeiller ha saputo risolvere il problema nel modo più soddisfacente colle prime perforatrici che fin dall'anno 1861 lavorarono nella Galleria del Fréjus. Nel progresso di questa gigantesca impresa, in cui si adoperano esclusivamente le perforatrici in discorso, furono introdotte parecchie modificazioni suggerite dalla esperienza; modificazioni però che si limitarono soltanto alle disposizioni e dimensioni dei pezzi e che per nulla modificarono il primitivo concetto del meccanismo. La perforatrice che minutamente ci proponiamo di descrivere nel numero che segue è quella dell'ultimo modello stato adottato nel traforo delle Alpi Cozie.

Una disposizione che fin d'ora crediamo conveniente di far notare nella perforatrice Sommeiller consiste in ciò che la distribuzione dell'aria compressa al cilindro in cui si muove lo stantuffo percussore, il movimento di rotazione dello scarpello intorno al proprio asse, ed in gran parte anche l'avanzamento del sistema percussore in relazione alla profondità del foro che si va scavando, si fanno indipendentemente dal movimento dello scarpello. Questa disposizione si è creduta necessaria pel buon andamento della macchina, ed infatti nelle lunghe prove al traforo del Fréjus in tutto e per tutto corrispose perfettamente allo scopo. — Il numero dei colpi che questa macchina può utilmente dare è di 180 a 225 per ogni minuto primo con un consumo d'aria di circa 180 litri alla pressione assoluta di 6 atmosfere.

Il peso della perforatrice Sommeiller è da 200 a 300 chilogrammi, ed il suo costo di circa lire 2000.

Le lunghe prove del traforo del Moncenisio hanno dimostrato: che una perforatrice doveva essere posta a riposo dopo avere mediamente eseguiti 900 fori profondi metri 0,80; che il vantaggio pratico che si ricavava dal loro impiego non era molto grande in quanto ad economia, ma che era considerevole in quanto a rapidità di sterro, potendo esser questa, nel complesso delle operazioni, da due a cinque volte maggiore di quella realizzabile cogli ordinari procedimenti.

Perforatrice Doëring. — Questa macchina, destinata ad essere messa in azione dall'aria compressa, consta di un cilindro in cui si muove uno stantuffo che porta lo scarpello. La distribuzione del fluido motore è fatta mediante un cassetto, dal quale l'aria compressa, dopo aver agito, direttamente si scarica all'esterno. Può

il detto cilindro scorrere su due guide, una delle quali è filettata a vite; e così l'intero sistema percussore ha quel moto progressivo, che gli è necessario onde avanzare a misura dell'affondarsi dei fori da mina. Questo moto però è costante per uno stesso numero di corse dello stantuffo; cosicchè la perforatrice Doëring ha, sotto questo rapporto, lo stesso inconveniente della perforatrice Bartlett. Onde ottenere che la macchina facilmente possa essere trasportata da un sol uomo, il suo inventore ha pensato di montarla su un carrello scorrevole sopra guide di ferro. Per mezzo di un albero verticale stabilito su questo carrello si può essa fissare in qualunque posizione. Questa macchina con buon esito è stata adoperata nelle miniere di zinco della Wieille-Montagne a Moresnet.

Perforatrice Bergstroëm. — Consiste questa perforatrice in un apparecchio assai semplice, composto essenzialmente di un cassetto di distribuzione dell'aria compressa ad un cilindro in cui si muove uno stantuffo, la cui asta porta direttamente lo scarpello. Il moto progressivo del sistema di percussione dipende dall'operaio che lo regola a mano per mezzo di una manovella. Il moto di rotazione dello scarpello è prodotto da una vite senza fine, la quale, per mezzo di una ruota elicoidale montata su di un'asta interna a quella dello stantuffo, comunica a questo il necessario movimento di rotazione; moto che riceve mediante due tiranti ed un volante dall'asta stessa del cassetto di distribuzione.

La perforatrice Bergstroëm è assai poco voluminosa, pesa solo 65 chilogrammi, ed è destinata per agire alla sola pressione di un'atmosfera dando da 300 a 400 colpi per ogni minuto primo.

Perforatrice Schwartzkopf e Philippon. — Gli inventori di questa macchina, adottando una disposizione affatto diversa da quella stata tenuta nelle altre perforatrici, si servirono dello stantuffo per far l'ufficio della mazza del minatore; e quindi isolarono completamente lo stantuffo dallo scarpello. Il primo si muove in un cilindro ed è munito di un'asta robustissima d'acciaio temperato destinata a produrre direttamente la percossa; il secondo è adattato ad un'asta di sezione quadrata che trovasi innanzi quella dello stantuffo, e che è mantenuta in posizione conveniente da un pezzo speciale di ferro che si collega ai due fianchi del cilindro. Per ottenere la retrocessione dello scarpello dopo ciascun colpo, serve una molla a spirale. Questa molla, compressa ad ogni percossa ricevuta dall'asta che porta lo scarpello, reagisce contro l'asta stessa appena lo stantuffo retrocede, e così la conduce nella sua primitiva posizione.

Per la rotazione dello scarpello serve una piccola ruota con undici denti a sega, calettata sopra un manicotto, il quale investe a dolce fregamento l'asta porta-scarpello. Un nottolino, che ad ogni colpo riceve direttamente il moto da un'appendice o pezzo di forma speciale portato dall'asta dello stantuffo, obbliga la detta ruota dentata a rotare di un undicesimo di giro. L'indicata appendice è pure quella che regola la distribuzione dell'aria compressa, la quale distribuzione è fatta mediante una chiave a due vie che trovasi sull'albero stesso del nottolino. Il moto di progressione dell'intero sistema percussore è regolato a maïo mediante una manovella, due ruote d'angolo ed una lunga vite.

Un apposito robusto braccio sopporta tutto l'apparecchio; ed è questo braccio che serve per fissare la macchina ad una colonna che si punta con apposite viti di pressione contro il suolo ed il cielo della galleria. Mediante una manovella munita di rocchetto che ingrana con una dentiera disposta secondo una generatrice della colonna, si può portare la macchina all'altezza voluta; ed una snodatura del braccio permette di dare un'inclinazione qualunque ai fori che lo scarpello deve praticare.

Perforatrice Haupt. — Il signor Ingegnere Herman Haupt di Filadelfia tentò di risolvere il problema tanto discusso dell'applicazione del vapore ai lavori sotterranei. Incaricato per qualche tempo della direzione dei lavori della galleria di Monte Hoosac, tosto si accorse della grave difficoltà alla quale si andava incontro col porre il generatore fuori della galleria, a motivo della diminuzione rapida di tensione nel vapore per le perdite di calore subite nel lungo percorso dall'imboccatura della galleria alle perforatrici; ed evitò questa difficoltà col portare il generatore a poca distanza dalla fronte d'attacco. Questo generatore, di costruzione affatto speciale, presentava una grandissima superficie di riscaldamento, cosicchè sotto un piccolo volume poteva alimentare tutte le perforatrici che operavano al fondo della galleria. Era collocato sopra un carro che muovevasi sopra un binario e che si faceva progredire coll'avanzare dell'escavazione. Il suo cammino era orizzontale e ripiegavasi in modo da unirsi alla condotta di ventilazione disposta sul suolo. Questo generatore somministrava il vapore per mettere in moto tre o quattro perforatrici state ideate dallo stesso signor Haupt. Queste macchine, assai semplici, consistevano essenzialmente in un cilindro in cui aveva moto di va e vieni uno stantuffo, il cui gambo portava direttamente lo scarpello. Il moto dello stantuffo era regolato

da un particolare distributore del vapore; ed eravi nello scarpello il moto di rotazione sul proprio asse, non che quello d'avanzamento a misura dell'affondamento dei fori che esso andava scavando. Tutti questi movimenti erano automatici, e per di più si trovavano combinati in una macchina di piccolo volume e non pesante più di 57 chilogrammi.

Le perforatrici Haupt si ponevano in azione disponendole fra due colonne verticali di ferro vuoto, che si potevano allungare od accorciare alla guisa dei cannocchiali, e puntare per le loro estremità al suolo ed al cielo della galleria. Queste due colonne erano fra loro rilegate da due traverse, una superiore e l'altra inferiore. Il vapore destinato ad animare le perforatrici passando per un foro praticato in un fianco della traversa inferiore, per una delle due colonne era condotto all'apparecchio di distribuzione e quindi al cilindro. Dopo aver operato sullo stantuffo, passando per l'altra colonna e per un tubo flessibile, era portato alla condotta dell'aria viziata e del fumo per aumentare il tirante che con altri mezzi attivavasi anche dall'imboccatura della galleria. Il tubo di presa del vapore dal generatore terminava in un altro disposto parallelamente alla fronte di attacco, al quale facevano capo i piccoli tubi flessibili destinati a portare il vapore alla traversa inferiore delle colonne.

Perforatrice Sachs. — In questa perforatrice la distribuzione dell'aria motrice, il movimento di rotazione e quello di progressione dello scarpello dipendono da quello dello stantuffo percussore, di maniera che sono questi movimenti soggetti all'azione degli urti. Se lo scarpello per una causa qualsiasi si incastrasse nella roccia o trovasse un impaccio, di necessità la macchina dovrebbe fermarsi con perdita di tempo e con ritardo nel progresso del lavoro. Non ostante quest'inconveniente del sistema, la perforatrice Sachs è così ben studiata in ogni suo particolare ed è costruita con tanta cura dalla Società Humbolt a Kalk, presso Colonia, che trovasi vantaggioso di adoperarla in parecchie miniere della Germania.

Questa perforatrice batte 400 colpi per ogni minuto e consuma in questo tempo soltanto da 200 a 250 litri d'aria alla pressione assoluta di atmosfere 2 e $\frac{1}{2}$. Il suo peso è appena di 40 chilogrammi e costa all'incirca 1200 lire.

L'impiego di queste perforatrici si fa ponendole su appositi affusti o cavalletti che si fabbricano dalla stessa Società Humbolt e che nulla lasciano desiderare per comodità, fermezza e solidità a tutta prova.

Perforatrice Dubois e François. — Quest'apparecchio, di cui già venne data una sommaria descrizione in questo volume (al numero 12 dell'argomento sulla *Costruzione delle grandi gallerie a foro cieco*), è uno di quelli che minutamente descriveremo. Esso fu inventato nell'anno 1869, ed i signori Dubois e François molto lodevolmente seppero approfittare dell'esperienza che il secondo di essi ha potuto acquistare sotto la direzione di Sommeiller. Radicalmente modificarono alcuni congegni della perforatrice di quest'ultimo, ottenendo i considerevoli vantaggi di una maggior semplificazione e di una macchina meno soggetta a guasti.

In questa perforatrice si possono realizzare tutti i movimenti di quella Sommeiller, ma l'avanzamento del sistema percussore a misura dell'affondarsi dei fori da mina non è più automatico. Questo movimento vien regolato dall'operaio il quale, facendo girare un volantino, imprime un movimento rotatorio ad una robusta vite lungo la quale può avanzare o retrocedere il sistema percussore. Questa disposizione nel moto di avanzamento dell'indicato sistema, è quella che ha principalmente permesso di realizzare notevoli semplificazioni nella perforatrice di cui discorriamo e di rendere facile il raccorciamento e l'allungamento della corsa dello stantuffo portascarpello fra 2 e 18 centimetri, potendosi così a piacimento comandare la macchina, sia che si tratti di percuotere a piccoli colpi e perforare un attacco, sia che si voglia colpire a lunga corsa la fronte di una roccia ordinaria. Il numero dei colpi che questa macchina può dare ascende abitualmente da 200 a 250 per ogni minuto primo; ma, lavorando a brevissima corsa, si può portare questo numero fino a 500. Fra questi limiti di tempo e di percorse, il consumo dell'aria compressa, da cui la macchina vien messa in azione, varia da 180 a 200 litri alla pressione assoluta di atmosfere 3 a $3\frac{1}{2}$, invece che a 6 atmosfere come nella perforatrice

Sommeiller. E questa diversità di pressione costituisce un fatto assai importante a vantaggio della perforatrice di cui discorriamo; giacchè, oltre di essere in generale preferibili le pressioni più basse per la migliore utilizzazione della forza motrice, non è sempre possibile avere a disposizione potenti forze motrici naturali.

Il peso della perforatrice Dubois e François è di circa 220 chilogrammi, ed il suo costo ascende a lire 1600.

Queste macchine, state primieramente adoperate nelle miniere di Marihay a Flemalle-Grande nel Belgio, e presentemente impiegate

in parecchie miniere del Belgio, della Francia e dell'Alemagna, non che nella Galleria del Gottardo, hanno dato eccellenti risultati. La spesa dello sterro eseguito con esse non è di molto minore di quella che esigerebbe su egual lavoro fatto a mano; ma dove si guadagna molto è nella celerità del lavoro, giacchè nel complesso di tutte le operazioni di sterro si può andare con una celerità da tre a sette volte maggiore di quella realizzabile coi procedimenti ordinari.

Perforatrice Burleigh. — Questa macchina, la quale ha già ricevuto alcune applicazioni in America nella costruzione delle gallerie di Nesquehening, di monte Hoosac e di Halles Point presso New-Jork, e di cui, senza ottenere risultati corrispondenti alla natura, all'importanza ed ai bisogni del lavoro, si tentò l'applicazione al traforo del Gottardo, non pare destinata ad avere un gran successo per gli sterri nelle grandi gallerie. Essa va fornita di tutti i movimenti indispensabili per una buona perforazione, ma presenta lo svantaggio del troppo frequente impigliarsi dello scarpello nella roccia e del conseguente fermarsi di tutta la macchina.

Questa perforatrice può dare 350 colpi per ogni minuto primo con un consumo d'aria di circa 360 litri alla pressione assoluta di atmosfere 4 e $\frac{1}{2}$, e si impiega disponendola su apposito cavalletto.

La ditta Mahler ed Eschenbacher di Vienna costruisce due modelli di queste macchine. Il modello N° 1 pesa col suo cavalletto 145 chilogrammi e costa alla fabbrica circa 3000 lire.

Perforatrice Braidon, Davidson e Warrington. — In questa macchina, la quale fu presentata all'esposizione di Vienna su un cavalletto a trepiede di insufficiente stabilità, si operano a mano la progressione ed il regresso del sistema percussore; e la distribuzione dell'aria o del vapore è subordinata al movimento dello scarpello. Risulta da questa disposizione di cose che non di rado la perforatrice è costretta a fermarsi per l'impigliarsi dello scarpello nella roccia.

Con un consumo d'aria di circa 360 litri alla pressione assoluta di 4 atmosfere, può essa dare da 300 a 350 colpi per ogni minuto primo. Però non risulta che abbia finora ricevuto alcune utili applicazioni.

Perforatrice di Azolino dell'Acqua. — In questa perforatrice, il movimento di distribuzione del fluido motore, la rotazione dello scarpello ed il moto di avanzamento del sistema percussore a mi-

sura del progresso dei fori da mina sono automatici; ma tutti comandati dallo stantuffo percussore. Segue da ciò che, mancando il moto di quest'ultimo, la macchina deve arrestarsi. Del resto il meccanismo è semplice, ingegnoso e fondato su disposizioni nuove; e resta a vedersi se l'esperienza, che in fatto di perforatrici è quasi la sola atta a segnalarne i pregi ed a constatarne i difetti, sarà per mostrarsi favorevole all'avvenire di questa macchina. Essa può dare circa 250 colpi per ogni minuto primo con un consumo d'aria di 600 litri alla pressione assoluta di atmosfere $1\frac{1}{2}$ soltanto.

Perforatrice Mac Kean. — Questa perforatrice, di cui già abbiamo dato una descrizione sommaria in questo volume (al numero 12 dell'argomento sulla *Costruzione delle lunghe gallerie a foro cieco*), non si compone che di pochi pezzi, e quindi riesce assai semplice. Essa avrebbe la pretesa di superare tutte quelle finora conosciute per celerità di lavoro, giacchè vuolsi che alla pressione assoluta di 5 atmosfere possa dare più di 500 colpi per ogni minuto primo. Le esperienze però state fatte al traforo del Gottardo, nel mentre hanno messo in evidenza l'efficacia di questa macchina, accusarono il difetto di fermarsi per incagli che qualche volta si verificavano nella rotazione dello scarpello.

Perforatrice Ferroux. — Già abbiamo dato in questo volume (al numero 12 dell'argomento sulla *Costruzione delle lunghe gallerie a foro cieco*) una descrizione sommaria della perforatrice Ferroux. Secondo il nostro avviso, è questa macchina una delle migliori finora conosciute, e di quelle che meglio si prestano per la perforazione meccanica delle gallerie, e quindi ci proponiamo di dare nel numero 9 di questo lavoro una descrizione dettagliata accompagnata da disegni illustrativi.

Intanto ci limitiamo a dire che essa è perfettamente automatica in tutti i suoi movimenti; che, precisamente come la perforatrice Sommeiller, possiede il gran vantaggio dell'indipendenza della distribuzione del fluido motore dal movimento dello scarpello, ciò che rende quasi impossibili gli arresti per l'impigliarsi dello scarpello nella roccia; che può dare circa 250 colpi per ogni minuto primo; che esige un consumo d'aria compressa di qualche poco maggiore di quello richiesto dalla perforatrice Sommeiller; che è fatta per lavorare con una pressione assoluta da 5 a 6 atmosfere; e che ha sulle altre perforatrici il grande vantaggio della solidità di costruzione che rende meno frequenti e le riparazioni e

le interruzioni di lavoro. Il peso di questa macchina è di circa 250 chilogrammi.

Perforatrice Turrettini. — Questa macchina, di cui abbiamo fatto un cenno in questo volume (al numero 12 dell'argomento sulla *Costruzione delle lunghe gallerie a foro cieco*), sembra presentare tutti i requisiti delle buone perforatrici e pare che debbasi annoverare fra le migliori finora conosciute. Essendo i colpi stessi dello scarpello che determinano il cambiamento di distribuzione del fluido motore ed il regresso del porta-scarpello, si deve essa ascrivere a quelle in cui non esiste l'indipendenza del sistema motore dal sistema percussore, e per cui, se da una parte possono sorgere timori sull'inconveniente di arresti troppo frequenti per l'impigliarsi dello scarpello nella roccia, dall'altra e si evitano gli svantaggi di colpi imperfetti risultanti da un cambiamento anticipato di distribuzione, e si realizza la maggior economia di fluido motore.

La perforatrice Turrettini è ancora una macchina nuova, e le esperienze che si fanno alla Galleria del Gottardo, dove questa macchina già da qualche tempo viene adoperata, diranno in breve a qual successo è destinata e se nei lunghi lavori per gallerie può lottare coi migliori tipi di perforatrici finora conosciuti, quali sono le Sommeiller, le Dubois e François, le Mac Kean e le Ferroux.

2. Materiali da impiegarsi nella costruzione delle perforatrici.

— Fra le macchine che devono essere fatte coll'impiego di eccellenti materiali primeggiano le perforatrici a percussione, giacchè, sia per la molteplicità dei pezzi posti in movimento, sia per la celerità di questo, sia per gli attriti fra i vari organi, sia per gli urti violenti e continuati, si trovano esse soggette a potenti cause di guasto e di distruzione. Aggiungasi che la leggerezza è uno dei requisiti principali di queste interessanti macchine, cosicchè importa che esse siano costrutte con tali materiali da presentare una grande resistenza sotto un peso relativamente piccolo. Le esperienze già state fatte, e principalmente quelle assai lunghe della perforazione del Moncenisio, hanno dimostrato: che bisogna impiegare nella costruzione di queste macchine i metalli più resistenti; che la ghisa deve essere quasi completamente esclusa; che conviene limitare l'impiego del ferro quasi esclusivamente alle parti fisse; che bisogna fare in acciaio tutti gli organi destinati ad essere lanciati con grande velocità; che riesce vantaggioso fare in bronzo alcune parti le quali, come i cilindri, sono soggette ad

attriti continui ed a pressioni interne combinate colle vibrazioni che soffre l'intero meccanismo.

In quanto alle guerniture degli stantuffi e delle scatole a stoppa, conviene che siano di cuoio, e che, dove si può, si assegni loro tal forma da chiudere maggiormente al crescere della pressione interna.

Perforatrice Sommeiller.

3. Descrizione della perforatrice Sommeiller. — Quest'interessante macchina si presenta con forma lunga e sottile, e così soddisfa ad una condizione essenziale per le perforatrici destinate ai lavori di sterro nelle avanzate delle grandi gallerie. Essa è rappresentata, alla scala di 1/10, nella tavola XXIV, in cui sono date: nella figura 130 l'elevazione di fianco; nella figura 131 la proiezione orizzontale; nella figura 132 la sezione longitudinale prodotta dal piano verticale $\alpha\beta$ (*Fig.* 131); e nelle figure 133 e 134 le sezioni trasversali rispettivamente prodotte dai piani di profilo $\gamma\delta$ e $\gamma'\delta'$, $\lambda\mu$ e $\lambda'\mu'$. Nelle figure 135, 136 e 137 è rappresentato l'organo principale destinato a regolare l'aria compressa per la percussione, mentre nelle figure 138 e 139 è accennato al modo di collegamento dello scarpello al pezzo della macchina che è destinato a lanciarlo contro la fronte d'attacco. Essa poi si compone di due principalissime parti costituenti, il *sistema motore* l'una, ed il *sistema percussore* l'altra.

La parte formante il sistema motore consta essenzialmente di un cilindro A (*Fig.* 130, 131 e 132), chiamato *cilindro motore*, nel quale può prendere moto alterno rettilineo uno stantuffo B (*Fig.* 132). Questo stantuffo viene messo in moto dall'aria compressa portata da un tubo *a* alla camera C (*Fig.* 130 e 131), nella quale si trova una valvola analoga a quella di distribuzione delle macchine a vapore onde ottenere che l'aria compressa operi alternativamente sull'una e sull'altra faccia dello stantuffo. Il movimento di questo stesso stantuffo, mediante un nerbo *b* (*Fig.* 131 e 132) ed una manovella *c*, viene convertito in moto circolare continuo intorno ad un asse D (*Fig.* 130, 131 e 132) portato da due sostegni *d* ed *e* fissati all'intelaiatura della macchina. Quest'asse porta un volante E (*Fig.* 131) ed un eccentrico *f*, dal qual ultimo viene guidata la valvola di distribuzione dell'aria compressa. Di più, una

ruota dentata conica g (*Fig. 130, 131 e 132*) calettata sullo stesso albero, ingranando con una seconda ruota g' , dà movimento ad un secondo asse F disposto nel senso della lunghezza della macchina, e che si può chiamare *albero motore*. Quest'albero è di sezione circolare alle sole estremità, mediante le quali appoggia sulle due fantine di sostegno h ed i unite all'intelaiatura della macchina; ed ha sezione quadrata in tutti gli altri punti della sua lunghezza.

L'intelaiatura della perforatrice è formata di due longarine o pezzi longitudinali G convenientemente rilegati fra di loro nel senso trasversale, onde mantenere in essi il perfetto parallelismo; e alla parte posteriore della macchina, ossia all'estremità in cui trovasi il cilindro motore, i due pezzi dell'intelaiatura suddetta si riuniscono in una coda H con foro oblungo per l'adattamento della macchina sull'affusto nelle operazioni di perforazione. Le longarine G , verso la parte anteriore della macchina e per una considerevole parte della loro lunghezza, hanno sulle loro facce superiori delle dentiere a sega. Sulle due facce interne delle longarine stesse si trovano invece delle dentiere elicoidali (*Fig. 131*) per una parte posta verso il loro mezzo. Andando innanzi nella descrizione, si dirà dello scopo e dell'ufficio di queste dentiere.

Fra i due pezzi longitudinali G dell'intelaiatura, i quali servono da guide, può scorrere, per una lunghezza corrispondente a quella che suolsi dare ai fori da mina, la parte della macchina formante il sistema percussore, che consta essenzialmente di un cilindro I (*Fig. 130, 131 e 132*), chiamato *cilindro percussore*. In questo cilindro, per effetto dell'aria compressa continuamente portata dal tubo J , si muove uno stantuffo K (*Fig. 132*), al cui gambo trovasi unito il porta-scarpello L (*Fig. 130, 131 e 132*).

Superiormente al cilindro I esiste la camera d'aria M , nella quale può muoversi la valvola di distribuzione k (*Fig. 132*) che, a seconda della sua posizione rispetto alle luci l ed l' , mette la faccia posteriore dello stantuffo K in comunicazione colla camera M o coll'aria atmosferica. Nelle pareti dell'indicata camera d'aria, oltre le due luci l ed l' , ne esistono altre cinque. La prima in m , di dove esce il gambo della valvola di distribuzione k ; la seconda e la terza in n ed n' (*Fig. 130, 131 e 132*) poste una in faccia dell'altra, e per cui passa la parte ripiegata N (*Fig. 131*) del tubo J ; la quarta in o (*Fig. 132*) chiusa da un piccolo stantuffo detto *respingente*, di cui in seguito si vedrà lo scopo; e finalmente la quinta in p che trovasi in diretta comunicazione colla faccia anteriore dello stan-

tuffo K. La parte ripiegata N del tubo J (*Fig.* 130, 131 e 132) attraversa la camera d'aria M, la chiude in n' e versa l'aria nella camera stessa per due luci opposte praticate sulla sua superficie convessa.

Lo stantuffo K (*Fig.* 132) porta alla sua estremità posteriore un anello di ferro destinato a stringere le guarniture di cuoio alla successiva parte cilindrica massiccia in acciaio formante il gambo O; ed in seguito a questo viene il porta-scarpello L che, mantenendosi parallelo alle longarine dell'intelaiatura, attraversa la testa anteriore P della macchina. Il diametro dello stantuffo K è maggiore di quello del gambo O, di maniera che nel passaggio da quello a questo esiste una superficie anulare, sulla quale continuamente opera la pressione che regna nella camera M a motivo della luce p costantemente aperta. Segue da ciò che, quando il cassetto k pone la faccia posteriore dello stantuffo K in comunicazione coll'aria atmosferica, vien questo energicamente spinto all'indietro. Onde impedire poi che lo stantuffo K, sotto l'azione di quest'impulso, vada a battere ed a produrre guasti contro il fondo del cilindro percussore, esiste un organo speciale q detto *paracolpi*. Quest'organo non è altro che un piccolo pezzo di acciaio durissimo, guernito di cuoio, il quale occupa la parte posteriore del cilindro percussore, e che può muoversi a dolce sfregamento colle pareti del cilindro stesso imprigionando nello spazio r una certa massa d'aria alla tensione di quella della camera M. Questo spazio r comunica per un sottilissimo foro colla camera suddetta, e può così ricevere una piccola provvista d'aria quando per avventura le guerniture del paracolpi ne lasciassero sfuggire.

Passiamo ora ad indicare le disposizioni state adottate per conseguire, ad ogni colpo, la rotazione dello scarpello attorno al proprio asse. Perciò, all'estremo dell'albero motore F (*Fig.* 130, 131, 132 e 134), trovasi calettato un eccentrico s solidario all'albero stesso. Quest'eccentrico comanda un nottolino t mantenuto a contatto dei denti a sega di una ruota u da un altro nottolino t' e da due molle a spirale v e v' , fissate per un estremo al primo e per l'altro estremo al secondo dei nottolini ora indicati. La ruota u appoggia col suo mozzo, da una parte al sostegno i , dall'altra parte alla testa x dell'intelaiatura della macchina; può girare in appositi colletti di bronzo; ed è attraversata dal porta-scarpello L. Tale attraversamento poi è combinato in modo che il porta-scarpello può scorrere nella detta ruota nel senso longitudinale, ma in guisa da assecondare il moto rota-

torio della ruota stessa, allorquando questa, spinta ad intermittenza dal nottolino t , rota di una frazione di giro. Per ottenere poi che la ruota u comunichi allo scarpello il suo moto di rotazione, servono due biette di acciaio y , solidarie al mozzo della ruota suddetta e che penetrano in due lunghe scanalature opposte praticate sul cilindro L. Ad ogni giro dell'albero motore F avanza un dente della ruota u , cosicchè, se, come si è fatto per le ultime perforatrici Sommeiller, si assegnano a questa 19 denti, lo scarpello gira di $1/19$ di giro per ogni rotazione dell'albero motore.

La distribuzione dell'aria compressa nel cilindro percussore ha luogo come segue. Il gambo della valvola k (*Fig.* 132), a motivo dell'eccesso della pressione interna sull'esterna, è costantemente respinto nel condotto cilindrico avente la sua origine in m , ed il suo movimento è limitato alla lunghezza di un foro oblungho che si trova nel gambo stesso e che è attraversato da un piccolo asse cilindrico posto fra le pareti del condotto suddetto. L'estremità esterna del gambo si appoggia ad un bocciuolo particolare z (*Fig.* 130, 131 e 132) montato sull'albero motore F, scorrevole su quest'asse in senso longitudinale e girevole entro cuscinetti situati nel sostegno ρ che fa parte del sistema percussore. Il detto bocciuolo presenta a contatto del gambo della valvola k una superficie elicoidale la quale, ad ogni giro dell'albero motore, lo respinge nel condotto per un tratto eguale al passo dell'elica direttrice e quindi sposta la valvola k che gli è solidaria. A ciascun giro dell'albero motore e quindi a ciascun giro del bocciuolo, la valvola k , per effetto della pressione interna e del bocciuolo, compie adunque un'oscillazione di andata e ritorno, nella quale si stabilisce, prima la comunicazione della camera posteriore del cilindro coll'esterno e poi colla camera M. Le figure 135, 136 e 137 rappresentano rispettivamente il fianco, il prospetto e la proiezione orizzontale del bocciuolo costituente l'organo principale per la distribuzione dell'aria compressa nel cilindro percussore.

Viene ora la parte più complicata della perforatrice Sommeiller, ossia il meccanismo per l'avanzamento del sistema percussore a misura dell'affondarsi dei fori da mina. Alla parte posteriore del cilindro percussore è invariabilmente unita la coda Q (*Fig.* 132), nella quale a dolce sfregamento sono montati: la vite motrice R impegnata nelle dentiere elicoidali delle longarine; il manicotto T che attraversa, senza toccarlo, il doppio sostegno ρ' (*Fig.* 130, 131 e 132). Quest'ultimo sostegno, che appare anche nella sezione tras-

versale della macchina rappresentata colla figura 133, guidato dalle quattro ali a' , può scorrere parallelamente a se stesso sulle longarine. Sul manicotto indicato stanno tre ruote. La prima S (*Fig.* 130 e 132) è posta a dritta del sostegno ρ' presso la vite motrice R, e costituisce una ruota di forza o d'innesto a denti, solidaria al manicotto stesso rispetto al moto di rotazione, ma scorrevole su esso per breve tratto nel senso longitudinale, per cui può impegnare i denti o risalti posti nella sua faccia anteriore, con altri scolpiti sulla faccia posteriore della vite motrice. La seconda ruota T (*Fig.* 130, 132 e 133) è posta fra i due sostegni ρ' , presenta 16 denti a sega, è completamente solidaria al manicotto, e riceve moto intermittente da un nottolino ε mosso dall'eccentrico η calettato sull'albero motore F e girevole su cuscinetti portati dai sostegni ρ' . La terza ruota U (*Fig.* 130, 131 e 132) si trova a sinistra del sostegno ρ' , e non è altro che una semplice ruota d'ingranaggio avente 20 denti, la quale ingrana col pignone a tredici denti V, il quale può girare sul perno π . Sull'albero motore F trovasi un pignone π' , il quale si può far scorrere lungo l'albero stesso, onde portarlo contro il sostegno ρ' per farlo ingranare col pignone V, e produrre così nel sistema percussore un movimento di regresso, di cui fra breve parleremo.

Risulta da questa disposizione di cose che, girando l'albero motore F in modo continuo colla stessa velocità angolare dell'albero D (giacchè le due ruote coniche g e g' hanno lo stesso numero di denti), l'eccentrico η ed il nottolino ε devono comunicare alla ruota T e quindi al manicotto τ ed all'innesto S un moto rotatorio intermittente. Questo moto rotatorio non produce alcun avanzamento, finchè il detto innesto non è alle prese colla vite motrice R, e fa invece avanzare questa vite e quindi l'intero sistema percussore lungo le guide dell'intelaiatura, quando il detto innesto è di tanto avanzato da essere i suoi denti impigliati con quelli della vite motrice stessa. In quest'ultimo caso, stante il numero dei denti della ruota T ed il passo della vite ultima indicata, il sistema percussore progredisce verso la fronte d'attacco di un millimetro per ogni giro dell'albero motore F, e quindi per ogni colpo dato dallo scarpello.

Per stabilire l'innesto fra la ruota S e la vite R, l'ingegnere Sommeiller ha ideato un meccanismo che consta di tre parti principali. Una di queste parti è il respingente X (*Fig.* 130, 131 e 132), del quale si è già parlato, che chiude l'apertura o della camera d'aria M, e che attraversa una guida, o collare ϕ , unita al

sistema percussore; l'altra è il tridente Y, congiunto a snodo col respingente e che, mediante una molla ψ , è costantemente mantenuto contro le longarine; la terza è costituita dalle tringhie ξ , le quali, mediante un arco ζ che le unisce, abbracciano e comandano l'innesto S. Il porta-scarpello poi ha un bordo o risalto a' che, quando lo scarpello sta per raggiungere il massimo della sua corsa, batte contro il pezzo mediano del tridente e produce lo scatto degli altri due pezzi laterali dalle dentiere d'arresto esistenti sulle facce superiori delle due guide dell'intelaiatura. La ruota d'innesto S vien così resa libera, e, per effetto del respingente X, avanza tutto il sistema del manicotto τ , delle ruote S, T ed U, dell'eccentrico η e dei sostegni ρ' , finchè i denti della ruota S ora indicata s'impigliano con quelli della vite motrice R. Da questo momento il sistema percussore viene spinto innanzi, e dopo un certo avanzamento, i due pezzi laterali del tridente incontrando i due risalti successivi della dentiera d'arresto, si trova impedito il moto progressivo della ruota d'innesto S; di maniera che il cilindro percussore potrà soltanto progredire ancora di quel poco che sarà necessario per ottenere che finisca l'impigliarsi dei denti della ruota ora indicata colla vite motrice R. Cessato l'avanzamento del cilindro percussore, lo scarpello lavorerà nuovamente per affondare i fori da mina fino a che il risalto a' di bel nuovo verrà a battere sul ramo mediano che produce lo scatto del tridente, e così incomincerà un nuovo avanzamento del sistema percussore.

Allorquando un foro da mina ha raggiunto la voluta profondità, bisogna far rinculare il sistema percussore, e si ottiene lo scopo invertendo il movimento della vite motrice senza invertire quello dell'albero motore F; ed assai facilmente si può quest'operazione effettuare portando la vite π' ad ingranare colla vite V, la quale, comunicando il suo moto alla ruota U e quindi alla vite motrice R, produce il regresso voluto.

L'introduzione dell'aria compressa nella camera M, la quale è mobile rispetto alla posizione del tubo di presa J, si fa colla seguente disposizione. Il tubo adduttore dell'aria consta di due parti J ed N, la prima rettilinea portata dai due sostegni b' (*Fig. 131*), e la seconda ripiegata ad angolo retto che entra con un suo lato nel tubo J e coll'altro lato nella camera M. La seconda parte è scorrevole nella prima a dolce sfregamento, e dove attraversa le pareti della camera suddetta è munita di speciali guerniture di cuoio raccomandate da un rivestimento di rame. Questa disposizione per-

mette la massima libertà nel tubo apportatore dell'aria compressa al sistema percussore, il quale per tal modo non può risentire le dannose influenze dei moti irregolari e degli urti del sistema stesso.

Per avere l'acqua, che di tanto in tanto conviene lanciare nei fori che si vanno praticando, sia per raffreddare lo scarpello, sia per diminuire il polverio, esiste un tubo A' (*Fig.* 130, 131 e 132) di ferro, il quale serve per proteggere un sottile tubo di rame posto col suo estremo posteriore in comunicazione col serbatoio dell'acqua e munito all'estremità anteriore di una punta a lancia con piccolo foro. Aprendo il robinetto c', l'acqua, che con veemenza attraversa il piccolo foro suddetto, può essere lanciata nei fori in corso di escavazione. Il tubo A' è portato dai sostegni b' ed e'.

Gli scarpelli di tanto in tanto devono essere cangiati, e quindi importa che quest'operazione si possa eseguire facilmente e con celerità. Nella perforatrice Sommeiller esiste un manicotto B' (*Fig.* 138 e 139), il quale serve da mezzo per fermare lo scarpello C' al portascarpello L. L'unione di questo manicotto all'estremità dell'organo L è fatta mediante la chiavetta d', e mediante la chiavetta f' l'unione dello scarpello al manicotto. Nel lungo lavoro del traforo del Fréjus furono sperimentati scarpelli con svariate forme di tagliente, e si trovò che il tagliente a guisa di Z diede i migliori risultati. La lunghezza degli scarpelli stati adoperati nel detto lavoro variava da metri 0,40 a metri 1,50 e la loro grossezza verso la punta era di metri 0,04 per quelli destinati ai fori da mina, e di metri 0,08 per quelli dei fori da breccia.

Le principali dimensioni della perforatrice Sommeiller sono: lunghezza dell'intelaiatura metri 2,90; larghezza metri 0,32; altezza metri 0,42.

4. Affusto e carro dell'acqua da iniettarsi nei fori da mina.

— Nei cantieri di perforazione meccanica delle gallerie si è dato il nome di *affusti* agli apparecchi destinati a portare le perforatrici, allorquando sono in azione contro una determinata fronte d'attacco.

Questi apparecchi devono soddisfare a molte condizioni, le quali si possono riassumere come segue: somministrare alle perforatrici un valido sostegno dando loro appoggio all'estremità posteriore, ossia in corrispondenza della coda H (*Fig.* 130, 131 e 132), ed in un punto che sia a circa $\frac{2}{3}$ della lunghezza dell'intelaiatura a partire dalla coda stessa; permettere a ciascuna perforatrice le varie inclinazioni che si sogliono dare ai fori da mina; occupare

il minor spazio possibile, onde non rendere troppo imbarazzate le manovre e le operazioni pel cambio delle perforatrici; essere fornito di una certa facilità di locomozione onde seguire l'avanzamento dell'escavazione ed essere allontanato, quando occorre, dalla fronte di attacco; essere solido e di tanto peso da poter validamente resistere alle reazioni degli urti degli scarpelli.

Gli affusti stati adoperati al traforo del Fréjus ben soddisfacevano alle indicate condizioni, ed ecco un breve cenno di quello che si adoperava nella galleria d'avanzamento. Un castello di ferro, composto di quattro pezzi longitudinali rilegati fra di loro da otto ritti principali e da parecchie traverse collocate alla parte superiore ed alla parte inferiore, costituiva l'ossatura principale dell'apparecchio. Era di metri 8,79 la sua lunghezza, di metri 1,27 la sua larghezza e di metri 1,87 la sua altezza. Il tutto era sostenuto da quattro ruote massicce di ghisa, esterne al castello indicato, e collocate su un binario di metri 1,50, che occupava la parte mediana della galleria di avanzamento. Una delle due ruote anteriori era munita di una corona dentata, e mediante ingranaggi ed un volante a manovella si poteva far muovere tutto il sistema sulle rotaie.

Il peso di quest'affusto con tutti gli accessori ascendeva a circa 12 tonnellate. Le perforatrici erano disposte in modo da trovarsi due su ciascun fianco e tre nell'interno del castello, cosicchè generalmente l'affusto presentavasi alla fronte d'attacco armato di sette perforatrici. Appositi montanti, alcune viti ed alcuni braccioli, che potevansi mettere in varie posizioni, permettevano di dare alle perforatrici quelle differenti direzioni che si ravvisavano più convenienti ad ottenere un buon effetto dalle mine. Le scanalature, come *h* (*Fig. 130*), praticate sui fianchi dell'intelaiatura delle perforatrici, servivano in parte allo scopo di fissarle sull'affusto.

Gli affusti che si adoperavano per l'escavazione della tromba e pel lavoro in calotta erano di dimensioni assai minori e servivano per non più di tre o quattro perforatrici.

La presa dell'aria compressa, che doveva mettere in azione tutte le perforatrici montate sull'affusto, aveva luogo mediante tubi flessibili lunghi da 5 a 6 metri, i quali si fissavano per un'estremità alla condotta principale e per l'altra estremità a due tubi di ferro collocati longitudinalmente sull'affusto, uno da una parte e l'altro dall'altra. Questi tubi, che seguivano l'affusto per buona parte della sua lunghezza, terminavano ognuno ad un distributore, il quale consisteva in un tubo verticale di ghisa munito di quattro robi-

netti cui, mediante appositi accoppiamenti, si univano i tubi flessibili destinati a portare l'aria compressa ai tubi J (*Fig.* 130, 131 e 132) delle perforatrici.

Dietro l'affusto eravi un carro su cui stava un cilindro o serbatoio di lastra di ferro, lungo metri 4,10, col diametro di metri 0,60 e chiuso da due emisferi. Questo cilindro conteneva dell'acqua, ed era alimentato da un tubo flessibile che staccavasi dalla condotta d'acqua posta a fianco di quella dell'aria compressa. Un tubo flessibile, attaccato per un estremo alla condotta dell'aria compressa, manteneva nell'interno del serbatoio la pressione dell'aria stessa. Un secondo tubo flessibile, che poi dividevasi in due, conduceva l'acqua dal detto cilindro a due tubi di ferro collocati longitudinalmente e su ciascun lato nell'alto dell'affusto. Anche questi due tubi terminavano ciascuno in un distributore armato di quattro robinetti per accoppiarvi i tubi flessibili apportatori dell'acqua a quelli A' delle perforatrici.

5. Perforatrice in azione. — Supponiamo la perforatrice convenientemente fissata sull'affusto, coll'apparecchio percussore ritirato totalmente indietro, collo scarpello a distanza dalla fronte d'attacco presso a poco eguale alla corsa media dello stantuffo, e col tubo J (*Fig.* 130, 131 e 132) in comunicazione colla condotta dell'aria compressa. Aprendo lentamente la chiavetta o robinetto 1 (*Fig.* 130 e 131) e mantenendo chiusa la chiavetta 2, l'aria compressa giunge nel cilindro motore A (*Fig.* 130, 131 e 132), immediatamente determina i movimenti dello stantuffo B, dell'albero trasversale D e dell'albero motore F, non che quelli di tutti gli organi che da quest'ultimo dipendono. Questi organi sono: l'eccentrico η (*Fig.* 130, 131, 132 e 133) del meccanismo d'avanzamento del sistema percussore, il qual eccentrico, mediante il nottolino ε e la ruota T che ne dipende, produce la rotazione del manicotto τ ; il bocciuolo elicoidale z (*Fig.* 130, 131 e 132), il quale regola la distribuzione nel cilindro percussore; e l'eccentrico s (*Fig.* 130, 131, 132 e 134) il quale, mediante il nottolino t e la ruota u , produce la rotazione dello scarpello. Siccome però noi supponiamo che non siasi ancora introdotta l'aria compressa nel cilindro percussore, gli indicati movimenti non avranno alcun effetto per la percussione, e lo scarpello starà sul proprio asse senza alcun moto progressivo.

Se, dopo aperta la chiavetta 1 (*Fig.* 130, 131 e 132), si apre anche la chiavetta 2, l'aria compressa penetra nella camera M, respinge indietro la valvola k (*Fig.* 132) ed il suo gambo prende ap-

poggio contro il bocciuolo z (*Fig.* 130, 131 e 132). La detta valvola immediatamente incomincia ad oscillare, mettendo alternativamente la faccia posteriore dello stantuffo K (*Fig.* 132) in comunicazione coll'aria compressa che giunge nella camera M e coll'aria esterna, mentre una pressione continua si stabilisce per la luce p sulla faccia anteriore dello stantuffo stesso. Quando la luce l'' della valvola corrisponde alla luce l , l'aria compressa, penetrando nel cilindro percussore dietro lo stantuffo, esercita su questo una pressione la quale, vincendo la minore contropressione costante che ha luogo sulla corona anteriore dello stantuffo medesimo, determina il suo moto d'avanzamento e quindi il battere dello scarpello contro la roccia. Questo periodo d'avanzamento dello stantuffo percussore corrisponde alla semi-oscillazione retrograda della valvola k ; mentre nella semi-oscillazione d'avanzamento della valvola stessa ha luogo la comunicazione della luce l colla luce l' pel fatto che il cassetto della valvola ricopre ambedue le luci l ed l' ; e quindi la scarica all'esterno dell'aria che ha agito per la percussione ed immediatamente il regresso dello scarpello a motivo della pressione costante sulla faccia anulare dello stantuffo.

L'eccentrico s (*Fig.* 130, 131, 132 e 134) è calettato sull'albero motore F in modo da ottenere che lo scarpello giri sul proprio asse mentre fa la corsa retrograda. Ad ogni rotazione dell'albero motore adunque ha luogo un colpo di scarpello contro la roccia, e la rotazione di quest'ultimo intorno al proprio asse di $1/19$ di giro per essere diciannove i denti della ruota u .

Facendo agire la macchina, lo scarpello continua ad affondare il foro e ad internarsi nella roccia; la corsa dello stantuffo percussore va sempre allungandosi e succede che la faccia anteriore finisce per portarsi alla fine della sua corsa di avanzamento a quella minima distanza dal coperchio anteriore del cilindro percussore, che non può essere oltrepassata senza compromettere la sicurezza del cilindro medesimo. Questa minima distanza, che, avvenendo allo scarpello di battere a vuoto, è segnata dalla posizione relativa della valvola k (*Fig.* 132) disposta in modo da determinare lo scappamento in tempo utile per impedire il pericolo dell'urto contro il detto coperchio, è ancora prevenuta dagli organi che sono destinati a promuovere e ad arrestare l'avanzamento del sistema percussore.

Quando lo stantuffo percussore compie nel suo avanzamento la massima corsa utile consentitagli dalla macchina, il risalto a' (*Fig.* 130, 131 e 132), di cui va munito il porta-scarpello, batte contro il pezzo

mediano del tridente Y; ed in pochi colpi solleva e libera totalmente il tridente dalle tacche delle dentiere praticate sulle facce superiori delle longarine. Simultaneamente la pressione dell'aria compressa contenuta nella camera M sulla faccia o del respingente X agirà in modo da far venire innanzi, e da ottenere l'innesto fra la ruota S e la vite motrice M. Il sistema costituito dalla ruota a denti T, dalla ruota S e dal manicotto τ , il quale prima dell'indicato innesto girava folle sulla coda Q del cilindro percussore, pel legame prodotto dall'innesto medesimo farà rotare la vite motrice R, cosicchè tosto incomincerà l'avanzamento dell'intero sistema percussore. La corsa dello stantuffo K, senza interrompere il lavoro, andrà gradatamente scemando; i due pezzi laterali del tridente ancora sollevato, strisciando sui risalti che seguono le tacche appena abbandonate, s'impiglieranno nelle due tacche successive, e così il moto del tridente verrà arrestato. Il respingente X, operando sulla ruota di forza S per mantenerla ferma, tosto interrompe l'innesto della ruota stessa colla vite motrice R, e quindi cessa il moto d'avanzamento del sistema percussore. Questi fatti incessantemente si riproducono col continuo affondarsi del foro, in cui lo scarpello va penetrando; e, ad ogni ripresa del moto d'avanzamento, il sistema percussore progredisce dello spazio di metri 0,05, che è quello intercetto fra tacca e tacca delle dentiere scolpite sulle facce superiori delle longarine. Questo moto d'avanzamento può continuare, finchè la vite motrice arriva all'estremità della madre vite intagliata sulle pareti interne delle longarine stesse.

Nelle ultime perforatrici Sommeiller si ha una tale combinazione di organi da potersi fare di primo tratto un foro lungo metri 0,80 o poco più. Volendosi un foro di maggior profondità, bisogna sostituire allo scarpello già stato adoperato uno scarpello più lungo, il quale si applica dopo aver fatto rinculare di quanto basta il sistema percussore. Per ottenere questo moto di regresso si incomincia a chiudere la chiavetta 2, onde sospendere il moto di percussione; si gira convenientemente la vite 3 (*Fig.* 130, 131, 132 e 133) per ritirare il nottolino ϵ , comandato dall'eccentrico η , dalla ruota a denti T, e quindi si fa ingranare il pignone π' col pignone V. Fatto questo, avviene che la rotazione dell'albero motore F da destra a sinistra si trasmette col pignone di rimando V alla ruota U pure da destra a sinistra. E siccome quest'ultima, per effetto del nottolino ϵ e della ruota T, rotava col manicotto da sinistra a destra, il suo moto viene invertito. Cosicchè, se l'innesto S trovasi alle prese colla vite motrice

R, in breve deve verificarsi la retrocessione dell'intero sistema percussore. Tolta la chiavetta *f'* (*Fig.* 138 e 139) e sostituito uno scarpello più lungo, si può immediatamente lavorare per l'affondamento del foro senza menomamente variare la posizione della perforatrice sul suo affusto.

Per avere il miglior effetto possibile dalle mine, conviene approfittare della direzione che hanno gli strati della roccia da abbattersi; e, per raggiungere l'intento, si fanno i fori inclinati all'orizzonte. Intanto, dovendo la perforatrice essere rivolta obliquamente verso l'alto o verso il basso, la violenza dei colpi dello scarpello risulta minore o maggiore di quella che si verifica quando esso lavora orizzontalmente. Una componente del peso del sistema costituito dallo stantuffo percussore, dal porta-scarpello e dallo scarpello, diminuisce nel primo caso ed aumenta nel secondo la forza d'impulsione comunicata dall'aria compressa allo stantuffo suddetto. Deriva da questo stato di cose un andamento irregolare della macchina, la quale non potrebbe poi dare quel massimo effetto utile che dà quando lavora orizzontalmente, se non vi fosse modo di scemare l'azione nociva della gravità. Nella perforatrice Sommeiller però c'è mezzo di ovviare a quest'inconveniente coll'accorciare o coll'allungare il gambo della valvola *k* (*Fig.* 132), secondochè la perforatrice deve essere rivolta in alto oppure in basso. Perciò si toglie il piccolo asse 4 (*Fig.* 130) che attraversa il foro oblungo che trovasi nel gambo or indicato; proporzionalmente all'inclinazione del foro da praticarsi, si dà un mezzo giro o un giro intiero al gambo della valvola, il quale, a seconda del verso con cui si è girato, si accorcia o si allunga giacchè trovasi unito a vite alla valvola *k*. Accorciando il detto gambo viene ritardato il periodo di emissione dell'aria compressa, ed allungandolo viene anticipato; cosicchè si aumenta nel primo caso, e si diminuisce nel secondo la pressione dietro lo stantuffo percussore.

Nell'eseguimento dei lavori di perforazione, le teste delle perforatrici distano di circa metri 1,30 dalla fronte d'attacco. Stanno ordinariamente all'affusto armato di sette perforatrici 21 operai, fra i quali vi sono due meccanici ed uno scarpellino. Questi operai, a seconda del loro incarico speciale, si trovano, alcuni sul dinnanzi fra gli scarpelli, altri nell'interno ed attorno l'affusto presso le perforatrici.

Il consumo degli scarpelli non può essere che assai grande nella perforazione meccanica delle rocce, e nel traforo del Fréjus, affinché gli operai addetti al lavoro potessero sempre averne pel ricambio,

quando lo credevano necessario, si manteneva un deposito di questi indispensabili utensili sull'affusto stesso appena al di dietro delle perforatrici. Il materiale di scorta, fra il quale conviene annoverare anche le perforatrici destinate a sostituire quelle che si guastavano, era portato dall'esterno all'interno della galleria sui grandi vagoni trascinati da cavalli fin presso l'origine della galleria d'avanzamento. Al di là di questo punto si ponevano su vagoncini a quattro ruote lunghi 1 metro e larghi metri 0,50, i quali si spingevano a mano su un ristretto binario laterale. Su ciascuno di questi vagoncini si potevano portare due perforatrici fin presso il carro di scorta dell'acqua, dopo si caricavano su appositi vagoni, destinati a servire di deposito sia pei meccanismi ed utensili che dovevano servire alla perforazione, sia per quelli che avendo già operato ed essendo inservibili ad ulteriori lavori si dovevano portare all'esterno. Le perforatrici che si guastavano coll'uso, immediatamente venivano smontate dall'affusto, portate sui detti vagoni e sostituite con altre nuove o già state riparate che ivi si trovavano di scorta.

Due o tre operai bastavano generalmente per collocare e mettere a posto una perforatrice sull'affusto.

Nel traforo del Moncenisio, i fori da mina, che generalmente si facevano nella fronte d'attacco dell'avanzata, erano per l'ordinario in numero di 50; e, una volta questi fori ultimati, immediatamente si toglievano le comunicazioni dell'affusto e del carro di scorta colle condotte dell'aria compressa e dell'acqua. Tutto l'apparato che aveva servito alla perforazione si faceva indietreggiare fino a 40 o 50 metri di distanza dalla fronte d'attacco, onde porlo al riparo dei danni che diversamente avrebbe potuto apportarvi lo sparo delle mine, e per farvi attorno quelle operazioni che si credevano necessarie per ripresentarlo ad un nuovo attacco contro la roccia. Intanto gli operai fuochisti davano mano ad asciugare ed a caricare i fori delle mine ed a produrre l'esplosione di queste.

Scacciato il denso fumo prodotto dalla combustione della polvere con un copioso getto d'aria compressa, si procedeva tosto allo sgombrò delle macerie; perciò, appositi operai si servivano dei vagonetti ultimi indicati, i quali, per la loro ristrettezza, potevano passare a fianco dell'affusto e su di essi caricavano e trasportavano i detriti sino a quel punto della galleria d'ingrandimento in cui si trovavano i grandi vagoni che dovevano riceverli e trasportarli all'esterno.

Una volta ultimato lo sgombro dei detriti, allungavasi, se occorreva, il binario dell'affusto e si livellava il nuovo suolo della galleria; e tosto un'altra muta di eperai, venendo innanzi con tutto l'apparato della perforazione, s'accingeva all'esecuzione dei fori per un nuovo attacco.

A seconda della durezza della roccia in cui si lavorava, variava il tempo che occorreva da uno sparo al successivo, ossia la durata di una muta. Dei tre periodi componenti questa durata, ossia la perforazione, la carica e lo sparo delle mine, e lo sgombro dei detriti, il primo era il più lungo. Mediamente potevasi ritenere che era questa durata di 11 ore, che ottenevasi uno sterro di circa 16 metri cubi, ed un avanzamento giornaliero di circa 2 metri.

Perforatrice Dubois e François.

6. **Descrizione della perforatrice Dubois e François.** — Questa macchina soddisfa, per la sua forma allungata e per la facilità con cui può essere fissata sugli affusti, alle condizioni di un utile e comodo impiego nella perforazione meccanica delle gallerie. Essa è rappresentata, nella scala di 1/10, nella tavola XXV, nella quale sono date: colla figura 140, la sezione longitudinale nella direzione $\alpha\beta$ (Fig. 141); colla figura 141, una parte della proiezione orizzontale; colla figura 142, la sezione trasversale secondo la spezzata $\gamma\delta\lambda\mu$; e colla figura 143, la sezione trasversale secondo il piano di profilo $\nu\rho$.

Questa perforatrice è assai semplice e consta essenzialmente del *cilindro percussore* A (Fig. 140), nel quale può prendere movimento lo stantuffo B, il cui gambo C fa l'ufficio di porta-scarpello. Al di sopra di questo cilindro trovasi una camera di distribuzione, nella quale può agire una valvola o cassetto D alla foggia di quelle delle macchine a vapore. Questa valvola è unita a due stantuffi E ed E', il secondo dei quali ha una sezione retta più grande di quella del primo. L'aria compressa, portata da apposito tubo nella camera di distribuzione, esercita pressioni opposte sugli stantuffi suddetti; ma, a motivo della maggiore pressione sullo stantuffo E', questo si pone in moto da sinistra a destra, trascina con sè il cassetto che smaschera l'apertura a , per la quale l'aria compressa della camera di distribuzione ha accesso dietro lo stantuffo B, il quale istantaneamente lancia lo scalpello contro la roccia. Un piccolo foro b trovasi

nello stantuffo E', per cui l'aria compressa, espandendosi nella camera F e premendo così sulle due facce opposte dello stantuffo stesso, fa sentire la sua azione preponderante sullo stantuffo E, il quale, spinto da destra a sinistra, trascina nello stesso senso il cassetto D, mette la luce *a* e quindi la parte posteriore del cilindro percussore in comunicazione coll'atmosfera, e la luce *c* e quindi la parte anteriore dello stesso cilindro in comunicazione colla camera di distribuzione. In quest'istante lo stantuffo B e con esso lo scarpello sono spinti indietro. Un risalto *e*, di cui è munito il porta-scalpello, batte contro un pedale G destinato ad aprire una valvola *f* che dà sortita all'aria compressa giunta nella camera F; cosicchè lo stantuffo E' nuovamente vien posto in tale condizione da poter lanciare lo scarpello contro la roccia.

L'indicata disposizione della distribuzione dell'aria compressa ha per risultato: di ottenere quasi istantaneamente la forza motrice necessaria per lanciare con violenza lo scarpello contro la roccia; e di operare il regresso dello scarpello stesso in una maniera relativamente moderata.

La rotazione dello scarpello intorno al proprio asse, di una frazione di giro ad ogni colpo, si ottiene coll'azione alternativa di due piccoli stantuffi H ed H' a semplice effetto (*Fig.* 140, 141 e 142). L'aria compressa, ad ogni volta che alternativamente si porta ad agire sulla faccia posteriore e sulla faccia anteriore dello stantuffo B, facendosi strada per due aperture *m* ed *n*, in modo pure alternativo, agisce sui detti due stantuffi. Questi danno moto a due alette *g* ed *h*, le quali hanno per ufficio di far oscillare intorno al proprio asse un'asta rigida I, che alle estremità è portata da sostegni che la ricevono mediante collari. Quest'asta porta all'estremità verso la parte anteriore della macchina un nottolino L, il quale oscilla coll'asta stessa in modo da lasciar passare ad ogni colpo dello scarpello uno dei 18 denti di una ruota M a denti di sega. Un secondo nottolino N ed una molla O hanno per ufficio di mantenere il nottolino M contro la ruota a denti di sega e di obbligare questa al regolare disimpegno dell'ufficio cui è destinata. Una chiavetta *i* rende, per rapporto al solo moto di rotazione, la ruota M solidaria al porta-scalpello, cosicchè girando quella, di necessità deve girare anche questo. Come si vede chiaramente, i signori Dubois e François ottengono nella loro perforatrice la rotazione dello scarpello usando di alcune disposizioni che sono affatto analoghe a quelle state adottate nella perforatrice Sommeiller.

L'avanzamento del sistema percussore, man mano che il foro da mina va affondandosi, si fa manovrando un volantino P, il quale fa rotare una vite Q posta nel senso della lunghezza della macchina operante su una chiocciola R fissata al cilindro percussore. Gli stessi organi servono per il regresso dello scarpello, allorquando un foro da mina ha raggiunto la voluta profondità.

L'intelaiatura della perforatrice è costituita da due longarine S (*Fig. 140 e 141*) rilegate fra di loro nel senso trasversale. Alla parte posteriore della macchina ciascuna di queste longarine è attraversata da un foro, onde poter fissare l'apparecchio sull'affusto mediante un cilindro T. Alla parte anteriore sono queste longarine collegate dal sostegno U (*Fig. 140 e 143*), il quale, a dolce sfregamento, è attraversato dal porta-scarpello.

L'introduzione dell'aria compressa nella camera di distribuzione ha luogo mediante un tubo di caoutchouc, munito di un collare di metallo onde poterlo adattare alla perforatrice in *k*, dove si è rappresentata (*Fig. 141*) una sezione orizzontale nei soli organi che servono a quest'introduzione.

L'iniezione dell'acqua nei fori da mina, che è necessaria nella perforazione delle rocce molto dure perfettamente asciutte, si può evitare nelle rocce dure in presenza dell'acqua e nelle rocce tenere. Per questa ragione, la perforatrice di cui parliamo non porta, come la perforatrice Sommeiller, un tubo speciale per quest'operazione, la quale, quando si creda necessaria, può essere effettuata mediante tubi indipendenti dalla macchina ed aventi direttamente capo in un serbatoio in cui trovasi l'acqua sotto la pressione che regna nelle condotte dell'aria.

Il cangiamento degli scarpelli si fa nella perforatrice Dubois e François con un procedimento affatto analogo a quello stato indicato per la perforatrice Sommeiller. Nella punta di questi utensili si adotta la forma a Z, allorquando si deve lavorare negli schisti e nei grès teneri; si ricorre invece al tagliente a croce, detto anche *a berretto da prete* nei grès duri e principalmente per l'incominciamento dei fori.

Le dimensioni principali della perforatrice Dubois e François sono le seguenti: lunghezza metri 2,20; larghezza metri 0,23; altezza nel mezzo metri 0^m,32.

7. **Affusto.** — Gli affusti stati adoperati e che ancora si adoperano al traforo del Gottardo per le perforatrici Dubois e François sono di costruzione molto più semplice di quelli stati impiegati al

Fréjus, e, sempre mantenendo lo stesso tipo, si possono fare per due, per tre, per quattro ed anche per sei perforatrici. Gli affusti per sei perforatrici riescono vantaggiosi per gli attacchi delle gallerie d'avanzamento, e gli affusti per un minor numero di queste macchine convengono per gli attacchi d'ingrandimento, in calotta ed allo strozzo, nei quali si devono eseguire sterri di minor importanza.

Siccome parlando della perforatrice Ferroux intendiamo dare la descrizione ed il disegno di uno dei grandi affusti adoperati al traforo del Gottardo nella galleria d'avanzamento, ci limiteremo per ora a discorrere di un piccolo affusto per due sole perforatrici Dubois e François, affusto che in elevazione ed in proiezione orizzontale è rappresentato (alla scala di 1/20) nelle figure 144 e 145.

Quest' apparecchio consta di un' intelaiatura di ghisa A, portata da due ruote B, ed alla quale sono inchiodate due longarine di ferro C formanti timone. Lungo questi pezzi C può scorrere un carrello con quattro ruote D, il quale può prendere un moto rotatorio attorno l'asse a ; cosicchè mediante questa disposizione si può anche condurre l'affusto su un binario con andamento curvilineo di piccolo raggio.

L'intelaiatura di ghisa porta due viti verticali E, i cui assi sono in un piano perpendicolare all'asse longitudinale dell'apparecchio; e fra le longarine C elevansi due altre viti verticali F coi loro assi nel piano verticale determinato dall'asse longitudinale suddetto. Corrispondentemente alle longarine or indicate poste nella parte inferiore dell'apparecchio, ve ne sono altre superiori G collegate colle inferiori da ritti H. Ai pezzi G è unito in senso loro perpendicolare il pezzo I; e così, negli estremi di quest'ultimo pezzo e fra i pezzi G, hanno appoggio le estremità superiori delle viti E ed F. Un pezzo inclinato L serve a consolidare l'unione dell'intelaiatura superiore dell'affusto coll'intelaiatura inferiore.

Su ciascuna delle due viti posteriori E può scorrere una chiocciola K, ed una chiocciola U su ciascuna delle viti anteriori F. Al di sopra di ciascuna delle due chiocciole K vi è un anello M, al quale può essere fissata la coda dell'intelaiatura di una perforatrice. Al di sopra di ciascuna delle due chiocciole U esiste un anello con braccio sporgente N, nel quale si trova una fenditura b , in cui può scorrere una forcilla f destinata a dare appoggio alla macchina presso la parte anteriore della sua intelaiatura. Alle dette forcelle sono uniti gli uncini c , che servono di sostegno alle perforatrici,

allorquando si devono dirigere i fori da mina verso il suolo della galleria. Tutte queste disposizioni furono adottate per raggiungere lo scopo di poter con facilità dare alle perforatrici i movimenti più variati, e di fare i fori da mina in tutte le posizioni necessarie per la perforazione delle gallerie.

Nella parte posteriore dell'affusto, e precisamente sul pezzo inclinato L trovasi un tubo di ghisa O colle quattro diramazioni *d*. A due di queste diramazioni sono fissati i robinetti P, ciascuno dei quali, mediante un tubo di caoutchouc con collare metallico all'estremità, si può mettere in comunicazione colla camera di distribuzione di una perforatrice. Altre due sono munite dei robinetti Q, e servono a condurre l'aria compressa nel tubo O. Per ottenere questo ultimo intento, si fa uso di un tubo di caoutchouc colla lunghezza di metri 0,80. Questo tubo non si mette in diretta comunicazione colla condotta dell'aria compressa, ma si interpone fra questa e quello un tubo, lungo 5 metri, detto *telescopio* (*Fig. 146*), e costituito da due tubi di ferro battuto. Il diametro interno di uno di questi due tubi è uguale al diametro esterno dell'altro, di modo che il primo serve di astuccio al secondo; e la loro unione è fatta a perfetta tenuta d'aria. Con questo mezzo si ottiene di poter allungare la condotta dell'aria compressa a misura che l'escavazione progredisce fino a portare il tubo interno all'estremità della sua corsa, ossia per 5 metri, dopo di che è necessario procedere all'allungamento della condotta.

Durante l'azione delle perforatrici, si pongono sotto l'affusto i tavoloni R ed S (*Fig. 144* e *145*) e servono le viti di pressione T per dare un buon appoggio di quello su questi.

8. Perforatrice in azione. — Per dar principio ad un foro da mina mediante una perforatrice Dubois e François, si aggiusta convenientemente la macchina sull'affusto, si gira la vite Q (*Fig. 140*) per portare il sistema percussore all'origine della sua corsa. L'affusto poi si pone in tale posizione per rapporto alla fronte d'attacco da essere la punta dello scarpello ad una distanza presso a poco eguale alla corsa media dello stantuffo B.

Dopo questo, si apre la chiavetta che dà accesso all'aria compressa nella camera di distribuzione, e tosto, come risulta chiaramente da quanto si è detto al numero 6, la macchina si mette in azione per continuare la percussione in modo regolare ed a colpi reiterati e frequenti.

L'operaio destinato al governo della macchina in azione deve

stare attento a manovrare il volante P per tener dietro all'affondarsi del foro da mina, e per allungare o accorciare la corsa dello stantuffo percussore, secondo che è il caso di percuotere a lunghi o a piccoli colpi. La percussione a breve corsa, ma con colpi assai frequenti, si fa ordinariamente nella preparazione dell'attacco di un foro da mina e nelle rocce eccessivamente dure; la percussione a lunga corsa si fa quando il foro è già di qualche poco affondato e quando si deve lavorare entro formazioni di ordinaria durezza.

I fori da mina possono essere spinti fino alla profondità di metri 1,25; e per quanto si riferisce al modo di eseguirli, vale quanto si è detto al numero 5 parlando della perforatrice Sommeiller.

Dietro l'affusto trovasi il serbatoio dell'acqua destinata ad essere iniettata nei fori da mina, e dietro questo serbatoio un vagone per gli scarpelli e per le perforatrici di ricambio. Del resto, tutte le manovre che occorrono in galleria per l'impiego delle perforatrici Dubois e François sono affatto analoghe a quelle già state indicate nel numero 5 parlando della perforatrice Sommeiller in azione. Ma convien notare che, utilmente lavorando queste perforatrici ad una pressione non eccedente le 4 atmosfere, avvengono in esse pochi guasti, sono rare le riparazioni di qualche importanza, e quindi non è tanto frequente il bisogno di esportare dalla galleria le perforatrici daneggiate per sostituirle con altre o nuove, o già state convenientemente riparate.

Perforatrice Ferroux.

9. Descrizione della perforatrice Ferroux. — Questa macchina, privilegiata in tutti i paesi d'Europa e d'America con attestati di privativa a favore dell'inventore signor Ferroux e della casa costruttrice B. Roy e C. di Vevey, precisamente come la perforatrice Sommeiller, consta di due principalissime parti: del *sistema motore* e del *sistema percussore*. Essa poi, nella scala di 1/10, è rappresentata, in sezione longitudinale nella figura 147, in proiezione orizzontale nella figura 148, ed in sezione orizzontale secondo il piano determinato dalla retta $\alpha\beta$ nella figura 149. Per maggior schiarimento delle particolarità della macchina vi sono ancora le figure 150, 151 e 152, le quali rappresentano rispettivamente le se-

zioni trasversali prodotte dai piani verticali determinati dalle rette (*Fig. 147*) $\gamma\delta$, $\lambda\mu$ e $\nu\rho$.

La parte formante il sistema motore consiste essenzialmente in un cilindro A (*Fig. 147, 148 e 149*), detto *cilindro motore*, nel quale ha moto interno rettilineo uno stantuffo B (*Fig. 147 e 150*). Si ottiene questo movimento mediante l'aria compressa, la quale, per un tubo *a* (*Fig. 147 e 148*), giunge nella camera C (*Fig. 147 e 149*), in cui si muove il cassetto di distribuzione o valvola *b* (*Fig. 147*) in modo da portare l'aria motrice alternativamente sull'una o sull'altra faccia dello stantuffo suddetto. Il movimento dello stesso stantuffo, mediante una manovella, viene convertito in moto circolare continuo intorno ad un asse D (*Fig. 147 e 148*), che si può chiamare *albero motore* e che è portato da tre sostegni *c*, *d* ed *e* fissati all'intelaiatura della macchina. Quest'albero ha, fra gli altri uffizi, quello di dar moto al cassetto di distribuzione che regola l'accesso dell'aria compressa nel cilindro A mediante un eccentrico *l*.

L'intelaiatura suddetta consta di due pezzi longitudinali o guide E (*Fig. 147, 148 e 149*) convenientemente rilegate fra di loro da pezzi trasversali, onde mantenere in esse il perfetto parallelismo; e alla parte posteriore della macchina, ossia verso quell'estremità in cui trovasi il cilindro motore, quest'intelaiatura presenta una coda F per l'adattamento della perforatrice sull'affusto durante le operazioni di perforazione. Le guide E, per una considerevole lunghezza verso la parte anteriore della macchina, presentano sulle loro facce superiori delle dentiere a sega; e dentiere analoghe si trovano nelle due facce interne delle stesse guide (*Fig. 149*) per una parte posta verso il loro mezzo. Procedendo nella descrizione, accenneremo all'ufficio di queste dentiere.

Nel sistema percussore convien distinguere due parti principalissime, ossia il *cilindro propulsore* ed il *cilindro percussore*.

Il cilindro propulsore consiste in un lungo cilindro G (*Fig. 147, 148 e 149*), entro il quale può muoversi uno stantuffo H (*Fig. 147 e 149*) col suo gambo vuoto internamente. Aprendo il robinetto *f* (*Fig. 147 e 148*), l'aria compressa attraversa il tubo *g* e si porta nel cilindro propulsore dove fa due uffizi. Esercita innanzi tutto una pressione sulla faccia posteriore *hi* (*Fig. 147 e 149*) dello stantuffo H e tende per conseguenza a cacciare innanzi, in modo costante, questo stantuffo e quindi quanto ad esso si trova invariabilmente connesso. Passa in secondo luogo pel gambo vuoto dello stantuffo H

e giunge nella camera K entro cui si muove il cassetto o valvola *k* (*Fig.* 147) avente per ufficio di convenientemente distribuire l'aria necessaria a mettere in azione lo scarpello della perforatrice. Questo cassetto è comandato da un eccentrico *l'* posto sull'albero motore D.

Il cilindro percussore è quello rappresentato in L (*Fig.* 147 e 148), e, secondo che l'aria compressa arriva sulla faccia posteriore *mn* o sulla faccia anteriore *pq* (*Fig.* 147) dello stantuffo M che può in esso prendere moto alterno rettilineo, si ha l'avanzamento o il regresso del gambo N (*Fig.* 147 e 148) di questo stantuffo, che prolungasi fuori del cilindro percussore in O per ricevere lo scarpello in *r*.

Il cilindro percussore L ed il quarto sostegno *p'* dell'albero motore D sono invariabilmente uniti al gambo P dello stantuffo che si trova nel cilindro propulsore, cosicchè è questo stantuffo il regolatore della marcia di avanzamento o di regresso dello scarpello.

Per impedire che l'aria compressa arrivi sulla faccia posteriore *hi* dello stantuffo del cilindro propulsore e per ottenere che giunga invece sulla faccia anteriore *st*, onde produrre il regresso di questo stantuffo quando si trova spinto innanzi nel suo cilindro, si chiude il robinetto *f* (*Fig.* 148) e si apre l'altro *u*. L'aria compressa, passando nel tubo *v* e quindi nel condotto *x* (*Fig.* 147), arriva nello spazio anulare che rimane fra la parete del cilindro propulsore G ed il gambo P ed opera sulla faccia *st* onde produrre il rinculo di tutta la parte mobile del sistema percussore.

In questa perforatrice assai facilmente si ottiene l'avanzamento del sistema percussore e quindi dello scarpello, a misura che va affondandosi un foro in corso di esecuzione. Una leva Q (*Fig.* 147 e 148), per effetto della pressione dell'aria continuamente operante alla sua estremità posteriore mercè un piccolo stantuffo *y*, mantiene contro le dentiere delle facce superiori delle guide E la forcilla o pezzo speronato *z*; ed il gambo del cilindro percussore porta un risalto *a'*, il quale, prima che la faccia anteriore *pq* dello stantuffo M batta contro il fondo del cilindro indicato, urta nel tallone *b'*, produce il sollevamento della leva Q e quindi lo scatto della forcilla *z* dalle dentiere suddette. Appena il pezzo *z* è libero, l'apparecchio avanza d'un dente, la forcilla s'impiglia ancora nelle dentiere stesse, finchè nuovamente avviene l'urto del risalto *a'* sul tallone *b'*; e così continuamente il cilindro percussore, spinto innanzi dallo stantuffo H e trattenuto dall'impigliarsi della forcilla *z* contro le dentiere, regolarmente e lentamente progredisce coll'affondamento dei fori che lo scarpello va praticando.

Ma non basta che il sistema percussore sia consolidato nel senso dell'azione dello scarpello; importa anche che lo sia nel senso opposto, affinché la macchina, stabile e ferma in ogni senso, non possa risentire delle dannose scosse. Nella perforatrice Ferroux in modo ben felice si è provveduto a questa bisogna con due piccoli cilindri (*Fig.* 147, 149 e 151), in ciascuno dei quali può muoversi uno stantuffo c' con una sua estremità fatta in guisa da poter operare come arresto nella vicina delle due dentiere praticate sulle facce interne delle guide. Essendo queste due dentiere fatte in senso inverso di quelle delle facce superiori delle guide E, avviene che, quando la forcilla z e le estremità dei due stantuffi ultimi indicati sono alle prese colle rispettive dentiere, resta tolta qualsiasi oscillazione alla macchina. Siccome poi i due cilindri degli stantuffi c' sono in comunicazione col gambo vuoto dello stantuffo H, l'aria compressa mantiene continuamente contro le guide E i due piccoli stantuffi che possono muoversi nei cilindri stessi.

Per ottenere che lo scarpello roti ad ogni colpo sopra se stesso di una frazione di giro, si è adottata una disposizione affatto analoga a quella che si trova nella perforatrice Sommeiller. All'estremità dell'albero motore D (*Fig.* 147, 148 e 152) esiste un eccentrico d' destinato a far muovere un nottolino e' sulla ruota d'arresto R inalberata sul porta-scarpello e portante 16 denti. Ad ogni giro dell'albero D, il cui movimento è regolato dal volante S, il nottolino spinge innanzi di un dente la ruota d'arresto ed imprime allo stantuffo percussore, al porta-scarpello ed allo scarpello stesso un movimento di rotazione, per cui si trova costretto a produrre i suoi colpi rotando. Due fenditure longitudinali opposte praticate nel porta-scarpello e nelle quali possono scorrere due chiavette che penetrano nella ruota di arresto, obbligano questa a trascinare quello nel suo movimento rotatorio. Il nottolino e' è mantenuto contro la ruota d'arresto da un anello di caoutchouc, il quale, agendo sull'altro nottolino di ritegno f' , quando il primo passa da un dente all'altro, contribuisce ad ottenere che la ruota suddetta giri costantemente nello stesso senso.

Per far rinculare il sistema percussore quando si trova all'estremità della sua corsa, si chiude il robinetto f (*Fig.* 147 e 148) e si apre l'altro u . L'aria compressa, che spingeva innanzi il detto sistema, sfugge per la camera K; cessa la pressione dell'aria sui due piccoli stantuffi c' (*Fig.* 149 e 151); restano questi avvicinati dal robusto anello di caoutchouc g' che attornia le due braccia h' ; le

estremità dei detti due stantuffi si staccano dalle dentiere, e l'aria che, passando pel tubo v trovasi introdotta nello spazio x , opera sulla faccia st dello stantuffo H e lo conduce nella posizione indicata dalle figure 147 e 148, che è quella della macchina allorquando incomincia a lavorare.

Nella perforatrice, di cui stiamo discorrendo, l'introduzione dell'aria compressa ha sempre luogo nello stesso punto della macchina, quantunque il sistema percussore continuamente avanzi a misura dell'affondarsi dei fori da mina, ed è questa un'utile disposizione per cui non si rende necessario l'impiego di un tubo a doppia parete, l'una scorrevole nell'altra, come per la perforatrice Sommeiller.

L'iniezione dell'acqua nei fori da mina, quando si creda necessaria, si fa mediante tubi indipendenti dalla perforatrice, i quali sono in comunicazione col serbatoio dell'acqua compressa.

Il cangiamento degli scarpelli si fa in modo analogo a quello stato indicato per le perforatrici Sommeiller e Dubois e François. Manca però la chiavetta d'unione del manicotto col porta-scarpello. Questo è leggermente conico alla sua estremità ed entra a forza in un foro corrispondente del manicotto stesso.

Le principali dimensioni della perforatrice Ferroux sono: lunghezza 3 metri; larghezza metri 0,265; ed altezza metri 0,355. Questa macchina può anche essere accorciata collocando il cilindro propulsore parallelamente al cilindro percussore, e così ridotta può rendere dei grandi servigi nei lavori d'ingrandimento delle gallerie, come pure nelle avanzate di piccola sezione.

10. Affusto per le perforatrici, sistema Ferroux. — Nelle figure 153, 154, 155 e 156 è rappresentato, alla scala di 1/20, in elevazione, in proiezione orizzontale, di testa ed in sezione verticale secondo la spezzata $\alpha\beta\gamma\delta\lambda\mu$, l'affusto per sei perforatrici Ferroux quale si adopera a Gœschenen nella galleria d'avanzamento.

L'intelaiatura di quest'affusto è composta di ferri piatti, ed è consolidata nelle sue parti, posteriore, inferiore e superiore, da croci di Sant'Andrea. Sopra ciascuno dei suoi lati maggiori porta otto robusti montanti cilindrici di ferro, ed il tutto riposa su due assi orizzontali con quattro ruote di ghisa dura, le quali permettono di far avanzare o indietreggiare l'intero sistema senza l'aiuto di alcun apparecchio speciale.

Presso i detti montanti cilindrici vi sono le robuste viti a , le quali, convenientemente girate, permettono di innalzare o di abbas-

sare le perforatrici. Queste viti sono in numero di quattordici, disposte sette su un fianco e sette sull'altro fianco dell'affusto.

Ciascuna perforatrice si attacca, mediante il foro che trovasi nella sua coda, al piccolo perno *b* del sostegno A. Questi sostegni sono in numero di sei: due su ciascun fianco dell'affusto, uno in alto e l'altro in basso, e due nell'interno dell'affusto stesso situati in modo analogo. Essi sono girevoli attorno ai perni *c*; e, mediante le viti *d*, permettono, entro certi limiti, di avvicinare più o meno le perforatrici alla roccia, senza che sia necessario spostare l'affusto.

La parte anteriore di ogni perforatrice trova appoggio su una forcilla. Alle quattro forcille B, che si trovano sui due fianchi dell'affusto, si possono, entro determinati limiti, assegnare differenti posizioni nel senso trasversale mediante le viti *g*. E per le due forcille interne B' si ottiene lo stesso scopo mediante i cursori *e* e le viti di pressione *g'* e *g''*.

I sostegni A, B e B' possono, per ciascuna perforatrice, cangiare di posizione nel senso verticale in grazia delle viti *a*, le quali permettono di far salire e discendere i bracci a cui i detti sostegni sono attaccati.

Risulta dal sin qui detto che a tutti i punti di sostegno delle perforatrici si possono imprimere due movimenti, uno orizzontale e l'altro verticale, e che per conseguenza riesce possibile di dare, entro determinati limiti ed a ciascuna perforatrice, la posizione necessaria per attaccare la roccia nel punto voluto ed in una direzione determinata.

Sulla parte posteriore e precisamente sui pezzi inclinati dell'intelaiatura dell'affusto trovasi un serbatoio C, il quale, mediante un robinetto *f*, cui è avvitato un tubo di caoutchouc, comunica colla condotta dell'aria compressa in galleria. Questo serbatoio porta anteriormente sei robinetti *h*, a ciascuno dei quali è adattato un piccolo tubo, pure di caoutchouc, onde somministrare l'aria compressa necessaria a porre in azione la corrispondente perforatrice.

La lunghezza di questo affusto è di metri 3,75, di metri 1,50 la sua altezza massima, e di metri 1,65 la sua maggior larghezza misurata fra le estremità dei bracci esteriori. Il suo peso poi, senza le perforatrici, è di 3630 chilogrammi.

Egli è evidente che si potrebbe anche fare un affusto del sistema di quello indicato capace di portare non solo sei, ma otto perforatrici. Basterebbe perciò aumentare convenientemente il numero dei

sostegni, dei bracci e delle viti onde ottenere di poter porre tre perforatrici su ciascuno dei due lati e due nel mezzo.

11. **Perforatrice in azione.** — La perforatrice Ferroux si mette in azione in modo affatto analogo a quello già stato indicato per la perforatrice Sommeiller. Trovandosi essa convenientemente fissata all'affusto collo stantuffo propulsore H (*Fig.* 147, 148 e 149) presso la base posteriore del cilindro G, e collo scarpello avente dalla fronte d'attacco una distanza presso a poco eguale alla corsa media dello stantuffo percussore, si apre il robinetto che mette il tubo *a*, e quindi la camera C, in comunicazione colla condotta dell'aria compressa. Tosto lo stantuffo B (*Fig.* 147 e 148) si mette in movimento, e con esso l'albero motore D, non che tutti gli organi che da questo sono comandati. Siccome però supponiamo che la chiavetta *f* sia ancora chiusa è che quindi non sia ancora giunta l'aria compressa nel sistema percussore, questi movimenti non produrranno alcun avanzamento dello scarpello e quindi non avranno alcun effetto sulla percussione.

Che se, aprendo la chiavetta *f*, si dà accesso all'aria compressa nel cilindro propulsore G, avviene che essa, passando nel gambo vuoto P, giunge nella camera di distribuzione K, dalla quale, in grazia del giuoco della valvola *k* comandata dall'eccentrico *l'*, alternativamente passa ad operare sulla faccia posteriore *mn* e sulla faccia anteriore *pq* dello stantuffo M, determinando l'avanzamento ed il regresso dello scarpello. L'aria compressa, dopo aver agito o sull'una o sull'altra faccia dello stantuffo, si scarica nell'atmosfera per la luce 1 (*Fig.* 147), passando nei condotti stessi che la portarono nel cilindro percussore.

L'eccentrico *d'* (*Fig.* 147, 148 e 152) è calettato in modo sull'albero motore D da produrre la rotazione dello scarpello sul proprio asse nel mentre compie la sua corsa retrograda; e, siccome ad ogni giro dell'albero or indicato ha luogo un colpo di scarpello contro la roccia ed il passaggio di uno dei sedici denti della ruota R sotto il nottolino *e'*, ne risulta che ad ogni colpo lo scarpello rota di 1/16 di giro intorno al proprio asse.

A misura che il foro da mina va affondandosi, lo stantuffo M (*Fig.* 147) si avvicina a compiere la sua corsa massima, al di là della quale potrebbe percuotere e danneggiare il fondo anteriore del cilindro percussore. Questa corsa massima, determinata dalle oscillazioni della valvola *k* disposta in modo da promuovere lo scappamento in tempo utile per impedire il pericolo di urto contro il detto fondo,

è anche regolata da appositi organi aventi per ufficio di arrestare e di promuovere l'avanzamento del cilindro percussore.

Quando lo stantuffo M sta per compiere nel suo avanzamento la massima corsa utile consentitagli dalla macchina, il risalto a' del gambo del cilindro percussore urta nel tallone b' , produce il sollevamento della leva Q e quindi lo scatto della forcella z dalle tacche delle dentiere praticate sulle facce superiori delle longarine. Lo stantuffo H, sotto l'azione dell'aria compressa operante sulla sua faccia posteriore hi , avanza e con essa anche il cilindro percussore con diminuzione della corsa dello stantuffo M. Quest'avanzamento continua per uno spazio di circa 0,03, ossia finchè la forcella z s'impiglia nelle tacche successive delle dentiere suddette. Dopo si allunga nuovamente la corsa dello stantuffo or indicato, finchè il risalto a' urta contro il pezzo b' ; succede un nuovo scatto della forcella ed un nuovo avanzamento dell'apparecchio percussore. Questo regolare avanzamento dello scarpello a misura dell'affondarsi dei fori da mina è eguale alla somma delle due corse massime dello stantuffo propulsore H e dello stantuffo percussore M, e nelle attuali perforatrici Ferroux può aver luogo per una lunghezza di poco più di metri 0,80.

Volendosi fare dei fori da mina con profondità maggiore di metri 0,80, conviene far uso di due scarpelli di differente lunghezza e procedere, come si è detto al numero 5 parlando del modo di adoperare la perforatrice Sommeiller, avvertendo che l'indietreggiamento del sistema percussore necessario pei cangiamenti di scarpello, si ottiene chiudendo la chiavetta f ed aprendo l'altra u , per cui l'aria compressa si porta nel tubo v , per passare nel condotto x ed operare sulla faccia anteriore st dello stantuffo propulsore.

Il gambo della valvola k è unito a vite colla valvola stessa, e quindi trovasi esso suscettivo di piccole variazioni di lunghezza onde ritardare o accelerare i periodi di emissione dell'aria, e così accrescere o diminuire di qualche poco la pressione dietro lo stantuffo M, secondo che lo scarpello deve percuotere dal basso all'alto o dall'alto al basso.

Il serbatoio dell'acqua da iniettarsi nei fori che si vanno scavando ed il vagone per gli scarpelli e per le perforatrici di ricambio si trovano immediatamente dietro l'affusto.

Del resto, tutte le manovre, che occorrono in una galleria in cui s'impiega la perforatrice Ferroux, non sono sostanzialmente diverse da quelle che si facevano nella Galleria del Fréjus, in cui adoperavasi la perforatrice Sommeiller.

MANEGGI

PEL

SERVIZIO DEI POZZI

NELLA COSTRUZIONE DELLE GALLERIE

1. Assunto di questo lavoro. — Nella costruzione delle gallerie, in cui vi sono attacchi mediante pozzi, occorre stabilire alla bocca di questi appositi apparecchi atti a servire e per l'innalzamento delle materie sterrate e per l'abbassamento dei materiali d'armamento e di costruzione dell'opera sotterranea.

Questi apparecchi consistono generalmente in cilindri orizzontalmente disposti, ai quali convenientemente si avvolgono funi portanti appositi recipienti, come ceste, secchioni, casse e simili, in modo che discenda un recipiente vuoto o carico di oggetti a portarsi in basso, mentre un altro recipiente sale carico di materie sterrate. Sono ai medesimi uniti tutti quei congegni che servono a facilitare le manovre di carico, di sollevamento, di abbassamento e di scarico dei materiali trasportati; e, a seconda delle minori o maggiori profondità dei pozzi e delle minori o maggiori quantità dei materiali da sollevarsi, possono essere mossi da soli uomini, o da cavalli, o anche da una macchina a vapore.

In questa nota ci proponiamo di far conoscere i principali tipi di questi apparecchi generalmente conosciuti in pratica col nome di *maneggi*; e procureremo di raggiungere il propostoci intento dando succinte descrizioni, illustrate da appositi disegni, della *burbera*, dell'*asse nella ruota*, del *maneggio a cavalli*, del *maneggio a vapore con locomobile* e del *maneggio a vapore con macchina fissa*.

2. **Burbera.** — Questo semplicissimo apparecchio può essere adottato quando trattasi di fare il servizio di un pozzo di galleria avente poca profondità e generalmente non maggiore di 10 metri. Come in proiezione orizzontale ed in elevazione appare dalla figura 157, la quale rappresenta uno di questi apparecchi nella scala del 1/50, esso consiste in un cilindro o *fuso* F, al quale si avvolge una fune *f* con entrambi i capi liberi e fissata al fuso stesso nel mezzo della sua lunghezza. Ai due capi liberi di questa fune, muniti di appositi uncini *u*, si appendono le ceste o le secchie o i mastelli destinati a ricevere i materiali da trasportarsi.

In ciascuna delle due basi del fuso, secondo il suo asse, è infissa una manovella *m*. Ed è su queste due manovelle che operano gli uomini destinati a porre in azione il fuso girandolo o per un verso o per l'altro, onde far salire quello dei recipienti che si trova in basso carico dei materiali da sollevarsi e contemporaneamente far discender l'altro.

Due cavalletti C muniti di cuscinetti posti allo stesso livello, sostengono il fuso F. Questi cavalletti devono essere combinati in modo, che i due ritti portanti il fuso non subiscano alcun spostamento mentre la macchina è in azione, e serve a raggiungere l'intento la disposizione adottata nella predetta figura 157.

Le burbere, usate pel sollevamento degli sterri a braccia d'uomini, hanno generalmente il loro fuso con diametro variabile da metri 0,20 a metri 0,30, e colla lunghezza da metri 1,15 a metri 1,40. Il raggio della manovella suol essere da metri 0,35 a metri 0,40; di circa metri 0,03 il diametro della corda; e da metri cubi 0,033 a metri cubi 0,040 la capacità dei recipienti. La velocità delle funi varia in queste macchine da metri 0,90 a metri 1,25 per ogni minuto secondo.

Si fanno anche delle burbere in cui le due basi del fuso sono guernite di bracci sporgenti a guisa di raggi, i quali vengono impugnati e tirati o respinti dagli operai per far rotare il fuso nel senso conveniente.

3. **Asse nella ruota.** — Quest'apparecchio è forse il più vantaggioso pel sollevamento degli sterri che si devono estrarre dai pozzi coll'impiego della sola forza dell'uomo, e può servire per tutte le profondità non eccedenti i 20 metri. La figura 158 ne dà una rappresentazione, in proiezione orizzontale ed in elevazione di prospetto e di fianco, nella scala del 1/75.

Un fuso F, il quale porta un gran ruota R munita di piuoli alla

sua periferia, costituisce la parte essenziale della macchina. Questo fuso, mediante due perni piantati nelle sue basi nel senso dell'asse, appoggia a due cavalletti C; ed una fune *f*, fissata al fuso stesso, come si è detto parlando della burbera, porta i recipienti in cui si pongono le materie da sollevarsi.

Per mettere in movimento la macchina, gli uomini destinati al sollevamento degli sterri, afferrando colla mano i piuoli, fanno continuamente l'atto di salire esternamente su per la ruota, la quale è così costretta a girare a motivo del momento del peso degli uomini rispetto all'asse del fuso, che è anche asse della ruota. Pel resto le manovre si fanno come colla burbera.

L'esperienza dimostra che l'asse nella ruota a piuoli riesce vantaggioso, allorchando la ruota ha un diametro compreso fra 3 e 6 metri, e quando il diametro della ruota è circa 12 volte quello del fuso. I diametri minori di 3 metri danno una macchina poco efficace ed alla quale sono preferibili le burbere; i diametri maggiori di 6 metri conducono a macchine eccessivamente voluminose, pesanti e pigre per le troppe resistenze degli attriti.

Invece della ruota a piuoli, si può anche adottare la ruota a tamburo. Gli uomini destinati a porla in movimento oprano allora nell'interno della ruota stessa, cercando di salire sul suo fondo cilindrico in senso contrario al movimento, e così determinare la rotazione del fuso, e quindi l'innalzarsi di un recipiente pieno, e l'abbassarsi di un recipiente vuoto.

4. Maneggio a cavalli. — Una disposizione assai semplice per questo genere di maneggi è quella rappresentata, in proiezione orizzontale ed in elevazione, alla scala del 1/100, nella figura 159.

All'albero verticale A di un tamburo T con diametro compreso fra metri 2 e metri 2,5, sono unite due braccia B con lunghezza variabile da 4 a 5 metri e poste l'una in continuazione dell'altra. Presso l'estremità di ciascuna di queste braccia o stanghe si attacca un cavallo, epperiò devono esse trovarsi fermate ad un'altezza conveniente dell'albero suddetto, la quale, a seconda del sistema d'attacco, può variare da metri 0,90 a 2 metri. Si adotta il limite inferiore quando l'attacco del cavallo alla stanga si fa mediante un bilancino e due tirelle; si adotta invece il limite superiore quando si vuole che il cavallo si trovi sotto la stanga, cui è attaccato coll'intermedio di una specie di forcina. Il tamburo è posto al disopra delle stanghe, e appositi pezzi servono a consolidare le stanghe stesse. Le basi dell'albero A sono munite di perni di ferro posti secondo l'asse del-

l'albero stesso. Il perno inferiore gira in una ralla ed il perno superiore gira in apposito collare.

Al detto tamburo si avvolge una fune con tale lunghezza che, passando sulle due puleggie p e p' situate sopra il pozzo, ed essendo un'estremità al fondo, l'altra estremità si trova alla bocca del pozzo stesso. L'avvolgimento della fune al tamburo poi è fatto in modo che, girando l'albero A, sale una tinozza o una cassa attaccata ad un estremo della fune e discende la tinozza o la cassa attaccata all'altro estremo. Queste tinozze hanno generalmente capacità da metri cubi 0,200 a metri cubi 0,300.

Tutte le volte che un recipiente pieno giunge alla sommità del pozzo, bisogna vuotarlo; e per fare quest'operazione si arrestano i cavalli, i quali tosto vengono voltati onde produrre nell'albero A una rotazione contraria, ossia la discesa del recipiente salito pieno, già vuotato e riattaccato alla fune e la salita dell'altro recipiente stato riempito al fondo del pozzo.

Allorquando le casse o le tinozze piene hanno un peso considerevole, si fanno venire in prossimità del luogo di versamento o trasportandole su appositi carrelli, oppure facendole scorrere mediante ruote, di cui esse stesse qualche volta si muniscono onde facilitare i loro trasporti nel senso orizzontale.

I maneggi a cavalli possono essere messi in azione da uno, da due, da tre o anche da quattro cavalli, e si può ritenere che generalmente convengono per altezze comprese fra 20 e 50 metri.

5. Maneggio a vapore con locomobile. — I maneggi a vapore con locomobile sono apparecchi riconosciuti vantaggiosi pel servizio dei profondi pozzi di gallerie, allorquando si devono da essi sollevare grandi quantità di sterro. Uno di questi maneggi è rappresentato nella tavola XXX: in proiezione orizzontale nella figura 160; in proiezione verticale sul piano AB ed in sezione longitudinale secondo CD nella figura 161; e finalmente in proiezione verticale sul piano EF ed in sezione longitudinale secondo GH nella figura 162. Tutti questi disegni sono fatti nella scala del 1/100, ed il maneggio con essi rappresentato è quello stato adoperato al pozzo col numero 4 della Galleria d'Ariano, e fattoci conoscere dal distinto signor Ingegnere G. Lanino col riportarne la rappresentazione nell'atlante che illustra l'interessante sua pubblicazione sulle *Gallerie della traversata dell'Appennino nella linea Foggia-Napoli*.

Il pozzo in cui questo maneggio ha funzionato aveva sezione circolare con rivestimento murale, e, mediante un doppio tavolato T,

trovavasi esso diviso in due scompartimenti per una parte della sua profondità.

Un robusto castello di legname si elevava al di sopra della bocca del pozzo, e portava superiormente due puleggie fisse a e b , ciascuna delle quali insisteva ad uno degli scompartimenti indicati. Queste puleggie erano disposte in modo che gli assi delle due funi f ed f' , pendenti dall'una e dall'altra, si trovavano in un piano verticale passante per l'asse del pozzo, ed in posizione conveniente per la regolare salita e discesa dei secchioni appesi alle loro estremità.

Le dette funi andavano ad avvolgersi ad un cilindro orizzontale O o tamburo, il quale, convenientemente girando, produceva l'innalzamento di un secchione e l'abbassamento di un altro. Un sostegno a cavalletto dava appoggio ai cuscinetti in cui giravano i perni del cilindro stesso, il quale, coll'intermezzo di due gruppi d'ingranaggi, riceveva il movimento da una locomobile L posta a piccola distanza. Questa locomobile era munita di apparecchio per la contromarcia, e questo perchè eravi la necessità di cangiare da una corsa all'altra il verso della rotazione del cilindro O , onde ottenere l'alternativa per la salita e per la discesa di ogni secchione.

Faremo notare il rinforzo fatto al castello insistente alla bocca del pozzo, mediante i due pezzi inclinati c e d , i quali avevano per ufficio di impedire che il castello stesso piegasse sotto l'azione del momento della tensione dei due tratti di fune g e g' , attorno all'orizzontale eh . Uno scopo analogo si è cercato di raggiungere colla forma assegnata al cavalletto che porta il tamburo O , il quale, per non essere sollevato sotto l'azione delle forze corrispondenti alle dette tensioni, era per di più potentemente fermato al suolo.

Durante le sue corse ascendente e discendente, ciascun secchione si trovava attaccato all'estremità della fune mediante quattro catene fermate ad uncini posti attorno alla bocca del secchione stesso alle estremità di due diametri fra loro perpendicolari. Al compimento di ogni corsa discendente, ciascun secchione era ricevuto su un piccolo carro, staccato dalla fune e trasportato al sito in cui doveva essere caricato; e, giunto alla sommità di ogni corsa ascendente, veniva lateralmente tirato su un piano inclinato I , staccato pure dalla fune e rovesciato, affinchè le materie in esso contenute potessero passare dal detto piano ad un sottostante vagone V . Durante la fermata necessaria per distaccare, vuotare, raddrizzare e riattaccare il secchione superiore, si faceva in basso il distacco del secchione giunto vuoto o pieno di materiali, l'allontanamento di questo dal sito di

arrivo, il trasporto di un secchione pieno in questo stesso sito ed il suo attacco alla fune. Tutte queste manovre erano combinate in modo da verificarsi il minor perditempo possibile.

Le catene per la sospensione dei secchioni erano attaccate alle estremità delle due funi f ed f' nel modo espresso dalla figura 163.

Nel maneggio di cui stiamo parlando eravi un disco portato dall'albero del tamburo O, e fasciato da una lastra d'acciaio. Questa lastra si poteva mettere in tensione contro il disco mediante una leva a mano, e così ottenevasi un freno atto a rallentare o anche ad arrestare il movimento della macchina, e ad impedire disgustosi accidenti.

Gli elementi principali relativi alla macchina in discorso sono riportati nel seguente quadro.

Organi d'estrazione.

Volume interno dei secchioni	Metri cubi	0,480
Peso di un secchione vuoto	Chilogrammi	200
Peso delle catene di sospensione di un secchione	»	25
Diametro della fune	Metri	0,06
Peso per ogni metro lineare di fune .	Chilogrammi	2,50
Lunghezza totale della fune	Metri	200

Organi di trasmissione.

Altezza delle puleggie sulla bocca del pozzo	Metri	10
Diametro delle puleggie	»	1
Diametro del tamburo	»	1,90
Diametro del disco pel freno	»	1,20
Assi di rotazione per trasmettere il movi- mento dalla locomobile al tamburo .	Numero	3
Rapporto della velocità angolare del tam- buro a quella dell'asse della locomobile		1 a 10

Organi motori.

Stantuffi della locomobile	Numero	2
Diametro degli stantuffi	Metri	0,213
Corsa degli stantuffi	»	0,305
Diametro del volante della locomobile .	»	1,50

Superficie di riscaldamento della caldaia	
tubulare	Metri quadrati 19,75
Tensione massima del vapore	Atmosfere 3,5
» minima »	» 3

La velocità degli stantuffi della locomobile si manteneva ordinariamente fra metri 1 e metri 1,50 per ogni minuto secondo, e risultava che la velocità delle funi sollevanti e discendenti i secchioni oscillava fra metri 0,97 e metri 1,45.

6. Maneggio a vapore con macchina fissa. — I maneggi a vapore con macchina fissa riescono vantaggiosi nelle stesse circostanze in cui sono utili quelli con locomobile. L'impiego delle locomobili è giudicato preferibile sotto il riguardo della facilità di trovarle, di collocarle a posto e di rivenderle; l'impiego delle macchine fisse invece sembra promettere maggiore regolarità di servizio e maggior economia di combustibile. Le disposizioni per un maneggio a vapore con macchina fissa sono rappresentate nella tavola XXXI, ossia nella figura 164 in proiezione orizzontale con una parte della sezione orizzontale appena sopra la bocca del pozzo, nella figura 165 in proiezione verticale sul piano AB, in sezione longitudinale secondo CD ed ancora in sezione secondo C'D' per quanto si riferisce al pozzo, e finalmente nella figura 166 in elevazione sul piano EF ed in sezione trasversale secondo GH. Tutte queste figure sono disegnate nella scala di 1/100, ed il maneggio in esse rappresentato è uno di quelli stati adoperati per la Galleria del Belbo sulla ferrovia Bra-Savona, ed in seguito stato portato alla Galleria Starza, come risulta dalla citata pubblicazione del signor Ingegnere G. Lanino.

Questo maneggio si fece funzionare alla Starza sopra un pozzo con sezione orizzontale circolare, il quale per una parte della sua altezza era pure diviso in due scompartimenti da un doppio tavolato verticale. Pel sollevamento degli sterri provenienti dalla galleria e per l'introduzione in essa dei materiali occorrenti alla condotta dei lavori, si faceva uso di secchioni, che, per la loro forma speciale, chiameremo *tinozze*, e che, attaccati alle estremità di due funi, alternativamente si facevano salire e discendere nei detti scompartimenti.

Un castello di legname, con forma e dimensioni convenienti allo scopo, si trovava al di sopra della bocca del pozzo; ed eranvi su esso due puleggie fisse *a* e *b*. Su queste puleggie passavano le funi piatte *f* ed *f'*, destinate a portare le tinozze; e queste funi

andavano a fermarsi ai verricelli ad aspi *c* e *d* inalberati sullo stesso asse orizzontale *e*.

Mediante un gruppo d'ingranaggi, era quest'asse posto in movimento da una macchina fissa *M*, animata dal vapore somministrato da una caldaia *N*. Questa macchina fissa era munita degli appositi organi per la contromarcia, onde raggiungere lo scopo di poter far rotare l'albero *e* in due sensi contrari, ed ottenere così l'avvolgersi di una fune ad un verricello e lo svolgersi dell'altra fune dall'altro verricello, e quindi l'alternativa per la salita e per la discesa delle tinozze.

L'attacco delle tinozze alle estremità delle funi era fatto mediante catene ed uncini, presso a poco nel modo indicato nel precedente numero. Le catene poi erano fermate all'estremo della fune piatta secondo il particolare d'unione indicato nella figura 167.

Le manovre da farsi in galleria ed alla sommità del pozzo, onde disporre per una corsa verticale ed effettuarla, si compivano presso a poco come si è indicato pel maneggio a vapore già stato descritto; ed aggiungeremo solamente qualche parola sul modo di ricevere le tinozze piene e di operare il loro vuotamento. Ad ogni volta che una tinozza giungeva alla sommità del pozzo, veniva essa innalzata di qualche metro sopra la sua bocca; e questa immediatamente si chiudeva con una porta scorrevole. Questa porta poneva una piccola porzione di binario su essa stabilito in continuazione del binario di scarico, e quindi era possibile far venire sotto la tinozza sollevata un carrello *P*. Posto a sito questo carrello, si abbassava la tinozza onde caricarla sul carrello stesso, il quale, fatto scorrere sul binario di scarico, si portava al sito, in cui doveva essere vuotato. La tinozza prendeva sul carrello una posizione inclinata *Q* e quindi il suo vuotamento riusciva facile e spedito. Il carrello colla tinozza vuota si faceva tosto venire sulla porta scorrevole, ossia sotto l'estremità libera della fune, si attaccavano le quattro catene della fune stessa agli uncini della tinozza, si alzava questa per poter fare di qualche poco indietro il carrello sul binario di scarico e per aprire la bocca del pozzo; e così tutto si metteva in posizione da poter dar principio ad una corsa verticale per la discesa della tinozza appena vuotata e per l'innalzamento di una tinozza piena già stata attaccata all'estremità dell'altra fune.

Invece di ricevere le tinozze piene sopra carrelli nel modo suddetto, riesce generalmente più comodo di riceverle a bilico su due ritti verticali biforcantisi alla loro sommità, affinché possano ser-

vire da cuscinetti per due perni fermati alla parete di ogni tinozza, ed i cui assi, posti su una stessa linea retta, l'attraversano nel seno di un diametro passante di qualche poco al di sopra del centro di gravità della tinozza carica. Questa disposizione facilita di molto le operazioni pel vuotamento e per mettere a posto i recipienti vuoti sul loro carrello.

Il maneggio di cui abbiamo or ora parlato non era munito di freno. Per la sicurezza delle operazioni però generalmente importa che quest'organo non manchi, e si può esso ottenere inalberando sull'asse *e* una ruota, sulla cui periferia si possa serrare una lastra d'acciaio mediante leve a mano.

I principali elementi relativi al maneggio di cui abbiamo parlato sono riassunti nel quadro che segue.

Organi d'estrazione.

Volume interno delle tinozze	Metri cubi	0,700
Peso di una tinozza vuota	Chilogrammi	200
Larghezza della fune piatta	Metri	0,125
Groschezza della medesima	»	0,035
Peso per ogni metro lineare di fune	Chilogrammi	5

Organi di trasmissione.

Altezza delle puleggie sulla bocca del pozzo	Metri	6
Diametro delle puleggie	»	1
Diametro minimo dei verricelli con aspi	»	1,77
» massimo	»	2,53
» medio	»	2,15
Assi di rotazione per trasmettere il movimento dalla macchina a vapore ai verricelli	Numero	2
Rapporto della velocità angolare dei verricelli a quella dell'asse posto in moto dalla macchina a vapore		1 a 7,3

Organi motori.

Stantuffi	Numero	1
Diametro dello stantuffo	Metri	0 ^m ,25
Corsa dello stantuffo	»	0,45

Diametro del volante della macchina a vapore	Metri	2, 40
Superficie di riscaldamento della caldaia con due bollitori	Metri quadrati	19, 50
Tensione massima del vapore	Atmosfere	5
» minima »	»	3

Mantenendosi la velocità dello stantuffo fra metri 1 e metri 1,50 per ogni minuto secondo, la velocità delle funi sollevanti e discendenti le tinozze variava fra metri 1,02 e metri 1,53.

7. Elevatori idraulici. — Per quanto mi consta, gli elevatori idraulici non ricevettero in Italia alcuna applicazione nel servizio dei pozzi per gallerie. Siccome però è avviso di molti che possano dare eccellenti risultati, non possiamo dispensarci dal darne un breve cenno, distinguendoli in elevatori a carico d'acqua ed in elevatori ad acqua compressa.

Gli elevatori a carico d'acqua consistono in due casse, sostenute da una stessa fune accavalcata ad una gran puleggia e con tale lunghezza che, quando una di dette casse è al fondo del pozzo colla sua faccia superiore al livello del pavimento della galleria; l'altra cassa trovasi alla sommità colla sua faccia superiore al livello delle vie di scarico. Sulle dette facce si trovano apposite guide, le quali, quando le due casse hanno l'ultima indicata posizione, sono in continuazione dei binari stabiliti, nel sotterraneo pel trasporto orizzontale dei materiali, e superiormente per lo scarico dei materiali estratti.

La manovra di quest'elevatore ha luogo come segue. Si fa venire sulla cassa inferiore un vagonetto pieno dei materiali da estrarsi; sulla cassa superiore si carica un altro vagonetto con materiali da introdursi in galleria e si porta il suo peso a tal punto da determinare il moto discendente della cassa superiore e quello ascendente della cassa inferiore, onde ottenere l'innalzamento di questa e l'abbassamento di quella. Un potente freno serve a regolare il moto ed anche ad arrestarlo. Compiuta la corsa, si scaricano le casse facendo venire i vagonetti sui binari stabiliti in continuazione delle guide delle casse stesse, e si pone così l'apparecchio in istato da poter fare una nuova corsa.

Allorquando non si hanno materiali da introdurre in galleria, si fa entrare nella cassa superiore tant'acqua, quanto è necessaria per mettere in movimento l'apparecchio. Giunta questa cassa alla fine

della sua corsa discendente, l'acqua stata in essa posta si scarica in apposito serbatoio, da cui si estrae mediante apposita pompa. Per l'uniformità nella resistenza da vincersi dal principio alla fine di ogni corsa, al di sotto di ciascuna cassa trovasi una catena, la quale in qualsiasi posizione dell'apparecchio si estende dal fondo della cassa cui è attaccato fino alla soglia del pozzo.

L'impresa Gouin ha sperimentato un elevatore ad acqua compressa, nel quale questo liquido ad una pressione di 30 atmosfere era condotto ad agire entro un cilindro orizzontale mobile lungo un gambo fisso. Questo cilindro, per ogni viaggio verticale faceva una corsa di 3 metri ossia circa $1/15$ della profondità del pozzo cui il sistema venne applicato, e consumava $1/4$ di metro cubo d'acqua compressa, sollevando un peso di 1500 chilogrammi dal fondo alla sommità del pozzo. I secchioni stati adoperati per questa prova erano di ghisa, colla capacità di metri cubi 0,800. Il loro fondo era mobile, ed avevasi così all'uscita dal pozzo il vantaggio di poter scaricare le materie in apparecchi destinati a trasportarle senza staccare i recipienti in cui furono sollevate. Per le regolari funzioni di siffatti apparecchi è necessario che la forza motrice sia tale da fornire a ciascun pozzo in 24 ore tante volte la quantità di acqua che si consuma in una corsa, quante sono le corse da compiersi in una giornata, e che la capacità degli accumulatori sia sufficiente per supplire nei casi in cui due corse devono aver luogo a distanza di tempo minore della normale.

Finalmente non possiamo tralasciare di avvertire come, anche usando dei maneggi stati descritti nei numeri 5 e 6, si possono sopprimere i secchioni e le tinozze ordinarie e sostituirvi secchioni a fondo mobile, od anche carretti o vagonetti che possono attraversare il pozzo senza trasbordo coll'intermezzo di due ponti sollevatori sospesi direttamente alle funi. Questi ponti sollevatori fanno l'ufficio delle due casse state indicate parlando degli elevatori a carico d'acqua, ed in loro grazia i carretti o vagonetti di trasporto si possono facilmente far passare dal sito di carico a quello di scarico. Quest'ultimo sistema ha molti fautori, quantunque presenti lo svantaggio di aumentare il peso morto nel viaggio verticale; e, impiegato in pozzi molto profondi, assai facilmente conduce a togliere o a diminuire l'inconveniente della variabilità della resistenza che si oppone all'estrazione coll'appendere al di sotto di ciascuno dei due ponti una fune od una catena che, per ogni metro lineare, pesi come quella di sospensione e che abbia lunghezza eguale alla profondità del pozzo.

8. Ordinamento del servizio dei pozzi. — Per convenientemente ordinare il servizio di un pozzo di galleria conviene aver riguardo al trasporto interno, al viaggio verticale ed al trasporto esterno di tutte le materie che dal sito di sterro devono passare al luogo di deposito e di tutti i materiali che dal cantiere dei lavori devono essere portati al luogo dell'impiego. Tutte le operazioni, per quanto si può, devono essere coordinate in modo che la circolazione riesca continua ed attiva colla maggior economia nel complesso dei mezzi che vi concorrono.

Una prima regola per raggiungere l'intento consiste nell'evitare i trasbordi da un recipiente all'altro, cosicchè uno stesso recipiente, una volta riempito di materiali nel luogo di carico, direttamente si deve far passare al sito di scarico.

Quando si impiegano maneggi mossi da uomini, i recipienti di estrazione sono di piccole dimensioni, possono essere manovrati a mano, e non è necessario alcun binario di servizio per caricarli su carretti destinati a facilitare il loro trasporto orizzontale. Le materie provenienti dai cantieri di sterro, i quali, quando il pozzo trovasi in piena attività, sono generalmente due, ossia uno a dritta e l'altro a sinistra del cunicolo o galleria trasversale che mette il pozzo in comunicazione colla galleria principale, o si caricano direttamente nei recipienti portati negli stessi siti di sterro, oppure a sbracci o con ceste o con carriuole si fanno venire presso il fondo del pozzo dove si pongono nei recipienti di sollevamento. Per compiere queste manovre senza perditempo conviene che i recipienti di sollevamento siano più di due, affinchè, appena disceso un recipiente vuoto, se ne trovi uno pieno per essere attaccato alla fune del maneggio e per essere sollevato. Una disposizione analoga si deve adottare alla bocca del pozzo, dove quasi sempre conviene che sia pronto un recipiente vuoto da mettersi al posto di quello appena sollevato e che deve essere staccato pel vuotamento. Quando il sito di vuotamento si trova assai vicino alla bocca del pozzo, il vuotamento dei recipienti può essere fatto con tanta celerità da poter far senza recipiente di ricambio.

Quando si adoperano maneggi a cavalli, i recipienti di trasporto hanno in generale tali dimensioni da non potersi comodamente manovrare a mano, e quindi, come già si è indicato al numero 4, conviene riceverli su appositi carrelli, tanto per trasportarli dal fondo del pozzo al sito di carico, quanto per trasportarli dalla bocca superiore del pozzo al luogo di scarico. Essendo generalmente due

gli attacchi che danno materiali da sollevarsi, uno a dritta e l'altro a sinistra della galleria trasversale, conviene disporre le cose in modo: che alternativamente corrispondano col pozzo i due attacchi in galleria; e che, tutte le volte in cui arriva al fondo del pozzo un recipiente vuoto, sia appena giunto da un attacco un recipiente pieno per essere sollevato. A misura che la distanza dal fondo del pozzo agli attacchi va aumentando, conviene aumentare il numero dei carrelli che circolano in galleria ponendone due per ogni attacco, e facendo in modo: che al fondo del pozzo vi sia un recipiente pieno per essere sollevato proveniente alternativamente dall'uno e dall'altro cantiere di sterro; e che ogni recipiente vuoto, il quale si porta ad un cantiere, incontri verso il mezzo del suo cammino un recipiente pieno che si porta al pozzo. Crescendo ancora la distanza in modo da non essere più conveniente l'indicata disposizione, si possono porre tre carrelli per ogni attacco, e stabilire due incontri per ogni terna di carrelli.

Che se si vogliono adoperare maneggi a vapore, si possono mettere in pratica le disposizioni state precedentemente indicate pel caso dei maneggi a cavalli; ma, per rendere più facile, più spedita e meno faticosa la circolazione dei carrelli che servono al trasporto dei recipienti, conviene lo stabilimento di appositi binari.

Venendo a considerare il servizio di un pozzo in ordine al cammino verticale delle materie da estrarsi, bisogna osservare: che la fune deve presentare una conveniente resistenza sotto l'azione del massimo carico da sollevare; che il suo peso esercita una notevole influenza sulla forza d'estrazione col renderla variabile da un istante all'altro; e che questa variabilità cresce coll'aumentare della profondità del pozzo. Finchè trattasi di profondità inferiori a 50 metri, la variabilità nella forza d'estrazione dal principio alla fine della corsa non è molto sensibile, e qualsiasi motore facilmente vi si può adattare. Per profondità maggiori questa variabilità diventa ognor più sensibile, in modo da non adattarvisi convenientemente i motori animati; che anzi, nei pozzi aventi altezza eccedente i 250 metri e per le funi generalmente usate, la forza d'estrazione che deve essere assai grande al principio della corsa, va scemando finchè si annulla, e diventa negativa verso la fine della corsa stessa.

L'impiego delle funi piatte, avvolte a spirale sopra verricelli con aspi, serve per diminuire in parte il citato inconveniente di variabilità della forza d'estrazione. Al principio della corsa corrisponde alla fune ascendente un braccio di leva più piccolo ed alla fune

discendente un braccio di leva più grande del raggio medio dei cilindri su cui le funi si avvolgono; mentre il contrario ha luogo verso la fine della corsa. Per questo motivo risultano minori le variazioni della resistenza che la potenza deve vincere in ogni corsa; che anzi, convenientemente scegliendo il diametro del nucleo centrale dei verricelli con aspi, si possono rendere queste variazioni praticamente insensibili. Per ottenere un tale risultato, il detto diametro dev'essere tanto più piccolo quanto è più grande la profondità del pozzo onde aumentare quanto più si può la differenza fra i due diametri estremi. Ma, per un servizio conveniente e spedito, la velocità delle funi deve crescere colla profondità del pozzo, e per ottenere quest'intento occorre non di diminuire, ma di aumentare il diametro del detto nucleo; cosicchè avviene, oltre un certo limite di profondità, che la dimensione buona sotto un riguardo non lo è più rispetto all'altro, e che non si può riuscire a soddisfarli entrambi. Verificandosi questo fatto si ricorre all'espedito dei contrappesi, i quali consistono, o in catene sospese sotto gli apparecchi di sollevamento, o in carretti su piani d'inclinazione variabile mossi da funi speciali che s'avvolgono su di un aspo secondario inalberato sullo stesso asse degli aspi principali, o in altri analoghi ripiegghi facili ad idearsi.

Il servizio esterno di un pozzo non può mai presentare alcuna complicazione, sia per la piccola distanza che generalmente esiste fra la bocca del pozzo ed il sito di scarico, sia per la facilità con cui si possono moltiplicare le vie di servizio. L'unico scopo che si deve cercare di raggiungere nel fare questo servizio, è quello di consumare il minor tempo possibile nel fare le manovre per staccare dalla fune un recipiente pieno e per attaccarvi un recipiente vuoto; e generalmente si raggiunge questo scopo ordinando il cantiere superiore in modo che, ad ogni arrivo di un recipiente pieno alla bocca del pozzo, si trovi pronto un recipiente vuoto per essere messo al posto del primo.

Col servizio esterno dei pozzi hanno rapporto gli apparecchi e le manovre per la chiusura delle loro bocche, e quindi non pare fuori di proposito dare un breve cenno su questi apparecchi, i quali consistono generalmente in porte scorrevoli, o in sportelli a ribalta.

Le porte scorrevoli sono generalmente di un sol pezzo, e quindi possono soltanto star chiuse quando la fune è fuori del pozzo, ossia durante la manovra pel cambio di un recipiente pieno con un recipiente vuoto. Esse si adoperano allorquando esiste un binario di

servizio pei carrelli destinati a ricevere i recipienti da vuotarsi; scorrono quasi sempre in senso normale a questo binario; e portano al di sopra un breve tratto di binario che si pone in continuazione di quello di servizio or indicato, onde poter far venire i carrelli sotto i recipienti che devono ricevere. Si obietta da taluni che le porte scorrevoli, lasciando superiormente aperto il pozzo mentre il maneggio funziona, non guarentiscono gli operai che sono in basso dalla caduta dei corpi, i quali potrebbero colpirli e quindi ad ogni momento compromettere la loro esistenza. Questa obiezione però ha poco fondamento, giacchè il solo momento veramente pericoloso si verifica quando il pozzo è chiuso, ossia quando gli operai stanno attorno alla bocca del pozzo pel cambio dei recipienti. Di più, rimanendo aperta la bocca superiore del pozzo mentre il maneggio funziona, si ha un notevole vantaggio per la ventilazione. Volendo, si potrebbero anche combinare delle porte scorrevoli, composte di due pezzi, le quali restassero chiuse; ma non si può a meno di riconoscere che questo sistema sarebbe pericoloso nel caso che il ricevitore al pozzo tardasse ad aprirle.

Gli sportelli a ribalta, potendo sempre star chiusi tranne nei momenti d'entrata ed uscita dei recipienti, sono raccomandati come più conformi alla sicurezza. L'impiego di questi sportelli presenta una certa difficoltà, allorquando si deve su essi continuare il binario di servizio per lo scarico dei recipienti, giacchè non riesce molto facile di combinare la necessaria resistenza colla voluta leggerezza.

Nel servizio dei pozzi per gallerie importa anche aver riguardo all'introduzione dei materiali occorrenti per puntellazioni, per armamenti e per murature. Quest'introduzione si fa in generale contemporaneamente al servizio d'estrazione: i recipienti discendono pieni di materiali, e prima di arrivare all'attacco si arrestano e si scaricano presso il sito in cui deve succedere l'incrociamiento dei recipienti vuoti che vanno allo scavo e dei recipienti pieni che si portano al pozzo. Quest'operazione di scarico richiede in generale un tempo più lungo che il caricamento dello scavo, e, sia per questo motivo, sia per le difficoltà dell'incrociamiento, non tutti i recipienti, che servono all'introduzione di materiali in galleria, possono raggiungere gli attacchi. Deriva da ciò che una parte di questi recipienti, generalmente una metà, deve sortire vuota dal pozzo; cosicchè si può ritenere che, durante l'introduzione dei materiali, una metà delle corse non può essere utilizzata pel servizio d'estrazione.

L'ordinamento completo del servizio di un pozzo di galleria esige

ancora che si pensi alla ventilazione ed all'estrazione dell'acqua che si può presentare nell'escavazione sotterranea. Quando non basta la ventilazione che naturalmente si produce coll'aprire e chiudere la bocca del pozzo per le manovre di cambio dei recipienti, è necessario ricorrere ad appositi ventilatori i quali possono essere fatti in modo da aspirare l'aria viziata o da iniettare l'aria pura in galleria dove sono più attivi i lavori e dove c'è maggior concentrazione di operai. Per estrarre l'acqua poi, si affonda il pozzo al di sotto del suolo della galleria, in questo maggior affondamento si fanno venire tutte le acque che si presentano nell'escavazione, si fa pescare il tubo di una pompa nell'acqua così raccolta e si mette in azione la pompa stessa per sollevarla. Il ventilatore e la pompa sono generalmente posti in moto dallo stesso motore che serve per mettere in moto il maneggio, ed è soltanto nei casi in cui si devono produrre ventilazioni molto energiche e considerevoli estrazioni d'acqua, che si compiono queste operazioni con motori speciali.

I maneggi pel servizio dei pozzi delle gallerie si stabiliscono sempre al coperto sotto tettoie economiche.

INDICE ANALITICO

Rottura e lavori di riparazione della Galleria dei Giovi e conseguenze per la determinazione delle grossezze dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili.

CAPITOLO I.

Rottura e lavori di riparazione della Galleria dei Giovi

1. Assunto di questo capitolo	Pag.	2
2. Dimensioni principali e struttura della Galleria dei Giovi	"	4
3. Deformazioni state accertate fin dal settembre dell'anno 1869 e relative conseguenze	"	5
4. Deformazioni verificatesi dopo il settembre dell'anno 1869, rottura avvenuta nel gennaio dell'anno 1873, fenomeni che la precedettero e relative conseguenze	"	6
5. Condizioni del tronco di galleria, rovinato nel gennaio dell'anno 1873, per rapporto al terreno in cui è scavato	"	8
6. Progetto di ristauero del tronco di galleria rovinato nel gennaio dell'anno 1873	"	9
7. Eseecuzione degli scavi, dei puntellamenti dei piedritti e del volto	"	12
8. Conclusioni che si possono trarre dai fenomeni verificatisi prima e nella rottura della Galleria dei Giovi	"	14

CAPITOLO II.

Determinazione delle grossezze dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili.

9. Componenti orizzontale e verticale della pressione che le terre producono su una determinata parte della superficie esterna del rivestimento di una galleria	"	15
10. Semplificazione che si può apportare alle formole del numero precedente	"	18
11. Componenti orizzontale e verticale della pressione che le terre producono su una determinata parte della superficie esterna del rivestimento di una galleria, quando la direttrice di questa superficie è una curva policentrica	"	21

12. Mutua azione di due parti di vólta che si toccano secondo un giunto qualunque	Pag.	22
13. Criterio per stabilire i punti d'applicazione delle pressioni su tre giunti del rivestimento	"	25
14. Pressioni su giunti qualunque e loro punti d'applicazioni	"	30
15. Componenti tangenziale e normale della pressione su un giunto qualsiasi del rivestimento	"	33
16. Pressioni riferite all'unità di superficie all'intradosso ed all'estradosso in un giunto qualsiasi del rivestimento	"	<i>ivi</i>
17. Equazioni di stabilità per un giunto qualunque del rivestimento	"	36
18. Dati pratici per l'applicazione delle formole state stabilite in questo capitolo	"	38
19. Modo di applicare la teoria esposta in questo capitolo	"	41

CAPITOLO III.

**Ricerche teoriche sulla stabilità del primitivo
e del nuovo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi
rovinato nel principio dell'anno 1873.**

20. Assunto di questo capitolo	"	44
21. Formole determinatrici dei pesi P e dei loro bracci p	"	45
22. Formole determinatrici delle forze X ed Y e delle distanze υ e ξ	"	49

*Stabilità del primitivo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi
rovinato nel principio dell'anno 1873.*

23. Come si può accertare il grado di stabilità del primitivo rivestimento	"	56
24. Determinazione dei pesi P e delle distanze p	"	57
25. Determinazione delle forze X e Y e delle distanze υ e ξ	"	59
26. Mutua azione fra due determinate parti del rivestimento	"	61
27. Azioni che hanno luogo in diversi giunti del rivestimento	"	63
28. Punti d'applicazione delle azioni state considerate nel numero precedente	"	<i>ivi</i>
29. Componenti normali e tangenziali delle azioni operanti nei giunti	"	64
30. Resistenze riferite all'unità di superficie in diversi giunti del rivestimento	"	65
31. Stabilità del primitivo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi rovinato nel principio dell'anno 1873	"	67

*Stabilità del rivestimento rifatto nel tronco di Galleria dei Giovi
rovinato nel principio dell'anno 1873.*

32. Come si può accertare il grado di stabilità del nuovo rivestimento	"	71
33. Determinazione dei pesi P e delle distanze p	"	72
34. Determinazione delle forze X ed Y e delle distanze υ e ξ	"	73

35. Mutua azione fra due determinate parti del rivestimento	Pag.	75
36. Azioni che hanno luogo su diversi giunti del rivestimento	”	76
37. Punti d'applicazione delle pressioni state considerate nel numero precedente	”	77
38. Componenti normali e tangenziali delle azioni operanti sui giunti	”	78
39. Resistenze riferite all'unità di superficie in diversi giunti del rivestimento	”	<i>ivi</i>
40. Stabilità del rivestimento rifatto nel tronco di Galleria dei Giovi, rovinato nel principio dell'anno 1873	”	80

Osservazioni sul metodo di calcolo stato seguito onde riconoscere il grado di stabilità del primitivo e del nuovo rivestimento del tronco di Galleria dei Giovi rovinato in principio dell'anno 1873.

41. Come si devono considerare i risultamenti dati dal metodo di calcolo stato seguito in questo capitolo	”	84
42. Osservazioni sui risultati ottenuti in ordine alla forma che conviene assegnare ai piedritti presso ed alla loro base	”	86
43. Semplificazioni che si possono apportare ai metodi di calcolo per verificare la stabilità di una galleria in terreni mobili	”	87

CAPITOLO IV.

Metodo grafico per verificare la stabilità del rivestimento delle gallerie in terreni mobili.

44. Pressioni delle terre su piccole parti della superficie esterna del rivestimento di una galleria	”	87
45. Pressioni delle terre su date parti della superficie esterna del rivestimento di una galleria	”	88
46. Pesi di piccole parti del rivestimento di una galleria	”	91
47. Pesi di date parti del rivestimento di una galleria	”	92
48. Determinazione della mutua azione fra due parti del rivestimento di una galleria in terreni mobili	”	93
49. Determinazione delle azioni su giunti qualunque del rivestimento	”	94
50. Componenti tangenziale e normale dell'azione su un giunto qualunque	”	95
51. Impiego dei risultati delle costruzioni grafiche per verificare la stabilità dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili	”	96

Sulla costruzione delle gallerie in terreni mobili.

1. Assunto di questo lavoro Pag. 97

CAPITOLO I.

Caratteri e fenomeni presentati dai terreni mobili.

2. Indicazione dei terreni mobili " 99
3. Principali varietà di argille scagliose " 100
4. Fenomeni che si presentano nella perforazione delle argille scagliose e principalmente in quelle della terza varietà " *ivi*
5. Frane alla superficie delle argille scagliose " 102
9. Fenomeni che si presentano nella perforazione delle gallerie entro sabbie bollenti " *ivi*

CAPITOLO II.

Forme e dimensioni dei rivestimenti delle gallerie in terreni mobili e dei loro pozzi.

7. Condizioni generali cui devono soddisfare i rivestimenti delle gallerie in terreni mobili " 103
8. Sezioni rette delle superficie interne dei rivestimenti " *ivi*
9. Esempi di direttrici delle superficie interne dei rivestimenti di gallerie per vie ferrate ad un solo binario " 104
10. Esempi di direttrici delle superficie interne dei rivestimenti di gallerie per vie ferrate a due binari " 109
11. Osservazioni pei proposti esempi di direttrici delle superficie interne dei rivestimenti " 110
12. Grossezze dei rivestimenti " 111
13. Nicchie " 113
14. Pozzi " *ivi*
15. Rivestimenti delle gallerie trasversali per giungere dalla galleria principale ai pozzi " *ivi*
16. Condotti per lo scolo delle acque " 116
17. Disposizioni alle teste " 118
18. Disposizioni da adottarsi per diminuire le deformazioni dei rivestimenti " 119

CAPITOLO III.

Sistemi d'esecuzione delle gallerie in terreni mobili.

19. Indicazione dei principali sistemi d'esecuzione delle gallerie " 120
20. Applicazione del sistema d'attacco in calotta " 124

21. Deformazioni che generalmente si verificano nei vólti prima della costruzione dei piedritti e dell'arco rovescio, e riparazioni dei loro guasti	Pag. 127
22. Applicazione del sistema d'attacco in tutta sezione	" 129
23. Deformazioni delle gallerie scavate in terreni mobili col sistema d'attacco in tutta sezione	" 131
24. Applicazione del sistema d'attacco in cunetta	" 132
25. Deformazioni delle gallerie scavate in terreni mobili col sistema d'attacco in cunetta	" 138
26. Convenienza relativa dei tre metodi d'attacco in calotta in tutta sezione ed in cunetta	" 139
27. Esecuzione delle gallerie nelle sabbie bollenti	" 142
28. Centine per la costruzione delle vólte delle gallerie in terreni mobili	" 147
29. Esecuzione dei pozzi	" <i>ivi</i>
30. Esecuzione delle crociere	" 150

CAPITOLO IV.

Dati relativi al progresso ed al costo di costruzione delle gallerie entro terreni mobili.

31. Avanzamento dei lavori	" 152
32. Importanza dei restringimenti di sezione, dell'agio da lasciarsi e dei ritagli da farsi nelle argille scagliose prima della costruzione del rivestimento	" 153
33. Quantità di legname occorrente per la costruzione delle gallerie entro terreni mobili	" 155
34. Costo di costruzione delle gallerie entro terreni mobili	" 156

Sulla costruzione delle grandi gallerie a foro cieco.

1. Nozioni generali ed assunto di questo lavoro	" 161
---	-------

CAPITOLO I.

Costruzione della Galleria del Fréjus.

2. Sistema d'attacco	" 162
3. Derivazioni e motori	" 166
4. Compressori, serbatoi e condotte dell'aria	" 168
5. Ventilazione	" 170
6. Perforatrici	" 173
7. Piano inclinato automotore	" 175

CAPITOLO II.

Costruzione della Galleria del Gottardo.

8. Sistema d'attacco	<i>Pag.</i> 176
9. Derivazioni e motori	" 180
10. Compressori dell'aria	" 183
11. Ventilatori	" 184
12. Perforatrici	" 185
13. Locomotiva ad aria compressa	" 189
14. Osservazioni	" 190
15. Principali particolarità per cui i lavori della Galleria del Gottardo differiscono da quelli della Galleria del Fréjus	" 191

Perforatrici a percussione.

1. Notizie storiche	" 195
2. Materiali da impiegarsi nella costruzione delle perforatrici	" 208

Perforatrice Sommeiller.

3. Descrizione della perforatrice Sommeiller	" 209
4. Affusto e carro dell'acqua da iniettarsi nei fori da mina	" 215
5. Perforatrice in azione	" 217

Perforatrice Dubois e François.

6. Descrizione della perforatrice Dubois e François	" 222
7. Affusto	" 224
8. Perforatrice in azione	" 226

Perforatrice Ferroux.

9. Descrizione della perforatrice Ferroux	" 227
10. Affusto per le perforatrici, sistema Ferroux	" 231
11. Perforatrice in azione	" 233

Maneggi pel servizio dei pozzi nella costruzione delle gallerie.

1. Assunto di questo lavoro	" 235
2. Burbera	" 236
3. Asse nella ruota	" <i>ivi</i>
4. Maneggio a cavalli	" 237
5. Maneggio a vapore con locomobile	" 238
6. Maneggio a vapore con macchina fissa	" 241
7. Elevatori idraulici	" 244
8. Ordinamento del servizio dei pozzi	" 246

10-10-10
All'onorevole Società degli Ingegneri e degli Industriali
di Torino

omaggi del' autore

APPENDICE

ALL'

ARTE DI FABBRICARE

CORSO COMPLETO DI ISTITUZIONI TEORICO-PRATICHE

PER GL'INGEGNERI, PER GLI ARCHITETTI, PER I PERITI IN COSTRUZIONE
E PER I PERITI MISURATORI

VOLUME TERZO

TAVOLE

ROTTURA E LAVORI DI RIPARAZIONE
DELLA
GALLERIA DEI GIOVI

e conseguenze
per la determinazione delle grossezze dei rivestimenti
delle gallerie in terreni mobili

COSTRUZIONE
DELLE GALLERIE IN TERRENI MOBILI

COSTRUZIONE
DELLE GRANDI GALLERIE A FORO CIECO

PERFORATRICI A PERCUSSIONE

MANEGGI
pel
SERVIZIO DEI POZZI
nella costruzione delle gallerie

per
CURIONI GIOVANNI

Professore di costruzioni civili, stradali ed idrauliche nella R. Scuola d'applicazione
per gli Ingegneri di Torino.



TORINO
Presso AUGUSTO FEDERICO NEGRO, Editore
4, Via Alfieri, 4

1877

Proprietà letteraria ed artistica, con riserva della traduzione.

STABILIMENTO TIPOGRAFICO E DI STEREOPIA A. F. NEGRO
4, via Alfieri, 4.

INDICE DELLE FIGURE

Tavola I.

- Figura* 1. — Sezione trasversale del primitivo rivestimento della Galleria dei Giovi — Scala di 1/100.
- " 2. — Sezione trasversale della Galleria dei Giovi nel sito in cui si manifestò la rottura del giorno 9 gennaio dell'anno 1873, colle indicazioni delle direttrici deformate della superficie interna del rivestimento quali furono accertate nel settembre dell'anno 1869 e nel principio del gennaio dell'anno 1873 — Scala di 1/100.
- " 3. — Sezione trasversale della Galleria dei Giovi nell'indicata località e quale fu rilevata al principio del gennaio dell'anno 1873 — Scala di 1/100.
- " 4. per spiegare come probabilissimamente si è diviso il rivestimento della galleria prima della rovina.

Tavola II.

- Figura* 5. — Sezione trasversale della galleria dopo la rovina — Scala di 1/200.
- " 6. — Sezione trasversale delle opere state progettate pel ristauero — Scala di 1/200.

Tavola III.

- Figura* 7. — Planimetria della località in cui avvenne la rottura della Galleria dei Giovi nel giorno 9 gennaio dell'anno 1873 — Scala di 1/500.
- " 8. — Profilo longitudinale secondo l'asse della galleria nella stessa località — Scala di 1/500.

Tavola IV.

- Figura* 9. — Profili trasversali per la stessa località — Scala di 1/1000.

Tavola V.

- Figura* 10. — Sezione trasversale e sezione orizzontale della galleria con alcune armature necessarie a mantener libero il passaggio dei convogli su un binario — Scala di 1/100.
- ” 11. — Sezione trasversale e sezione orizzontale della galleria collo scavo necessario alla costruzione del piedritto rovinato — Scala di 1/100.

Tavola VI.

- Figura* 12. — Sezione trasversale della galleria col piedritto in corso di costruzione — Scala di 1/100.
- ” 13. — Sezione trasversale della galleria collo scavo per la costruzione del vólto — Scala di 1/100.
- ” 14. — Sezione trasversale e proiezione orizzontale della galleria con una porzione del vólto in corso di esecuzione — Scala di 1/100.

Tavola VII.

- Figure* 15, 16, 17 e 18, relative alle determinazioni delle azioni delle terre sui rivestimenti delle gallerie contro terreni mobili.
- ” 19 e 20, per dedurre un criterio onde stabilire i punti d'applicazione delle pressioni su tre giunti del rivestimento di una galleria.
- Figura* 21, per dedurre le componenti tangenziale e normale della pressione su un giunto qualsiasi del rivestimento.
- ” 22, per far vedere come si deve fare la verifica della stabilità del rivestimento di una galleria aperta in terreni mobili,

Tavola VIII.

- Figura* 23, per la deduzione delle formole determinatrici dei pesi di parti del rivestimento comprese fra il giunto verticale di chiave e giunti qualunque, dei bracci di questi pesi per rapporto al piano del giunto predetto, delle componenti orizzontali e verticali delle pressioni delle terre su date porzioni della superficie d'estradosso del rivestimento, comprese fra due generatrici, e delle distanze di queste forze da due assi coordinati, uno verticale e l'altro orizzontale, passanti per la sommità della curva direttrice dell'estradosso.
- ” 24, per indicare le operazioni da farsi onde verificare la stabilità del nuovo rivestimento della galleria dei Giovi, dove avvenne la rottura del 9 gennaio 1873.
- ” 25, per indicare le operazioni da farsi onde verificare la stabilità del primitivo rivestimento della Galleria dei Giovi nello stesso sito.
- ” 26, per spiegare come deve aver avuto origine l'indicata rottura.

Tavola IX.

- Figura 27*, per far vedere come si possono determinare i pesi di piccole porzioni del rivestimento di una galleria e le pressioni delle terre su piccole parti della superficie esterna del rivestimento stesso quando vogliasi applicare il metodo grafico per verificarne la stabilità.
- Figure 28 e 29*, per far vedere come si possono determinare, procedendo graficamente, le pressioni delle terre su date parti del rivestimento di una galleria.
- Figura 30*, per far vedere come si può trovare il centro di superficie di un quadrilatero.

Tavola X.

- Figura 31*, per dedurre il peso di una data parte del rivestimento di una galleria e la verticale su cui questo peso si trova.
- ” 32, per dedurre la mutua azione fra due parti del rivestimento di una galleria in terreni mobili.
- ” 33, per dedurre le azioni su giunti qualunque del rivestimento di una galleria.

Tavola XI.

- Figura 34*. — Sezione retta della superficie interna del rivestimento di una galleria.
- Figura 35, 36, 37 e 38*. — Sezioni rette dei rivestimenti di gallerie per vie ferrate ad un sol binario, da aprirsi entro terreni mobili.
- Figura 39*. — Sezione retta del rivestimento di una galleria trasversale alta come la galleria principale a cui è collegata.

Tavola XII.

- Figure 40 e 41*. — Sezioni rette dei rivestimenti di gallerie per vie ferrate a due binari, da aprirsi entro terreni mobili.
- Figura 42*. — Sezione retta del rivestimento di una galleria trasversale più bassa della galleria principale a cui è collegata.
- ” 43. — Congiunzione di un pozzo colla galleria trasversale, e di quest'ultima colla galleria principale.
- Figure 44, 45 e 46*. — Disposizioni diverse pei condotti di scolo delle acque.

Tavola XIII.

- Figura 47*. — Rappresentazione di un pozzetto d'esplorazione.
- ” 48. — Biforcamento di un condotto di scolo allo sbocco d'una galleria.

- Figura 49.* — Sezione trasversale di muri in prolungamento riuniti da un arco rovescio.
- ” 50. — Sezione trasversale di una galleria col rivestimento rinforzato da cunei onde diminuire le deformazioni.
- Figure 51 e 52.* — Fasi del lavoro d'escavazione di una galleria entro terreni mobili col sistema d'attacco in calotta.
- ” 53 e 54. — Fasi del lavoro d'escavazione di una galleria entro terreni mobili col sistema d'attacco in tutta sezione.
- ” 55, 56 e 57. — Fasi del lavoro d'escavazione di una galleria entro terreni mobili col sistema d'attacco in cunetta.

Tavola XIV.

- Figure 58 e 59.* — Sezione orizzontale e sezione longitudinale di una galleria entro terreni mobili, in corso di esecuzione col sistema d'attacco in calotta.
- ” 60, 61, 62, 63 e 64. — Sezioni trasversali in corrispondenza delle diverse fasi del lavoro d'esecuzione della stessa galleria.

Tavola XV.

- Figura 65.* — Deformazioni, prima della costruzione dei piedritti, della curva direttrice della superficie d'intradosso del vólto di una galleria entro terreni mobili, scavata col sistema d'attacco in calotta.
- Figure 66 e 67.* — Sezioni trasversali del vólto danneggiato d'una galleria entro terreni mobili, scavata col sistema d'attacco in calotta.
- ” 68, 69, 70 e 71, per indicare come talvolta si possono riparare i guasti verificatisi nel vólto di una galleria nelle condizioni di terreno e di esecuzione sovr'accennate.
- Figura 72.* — Rivestimento di un pozzo di galleria scavata entro terreni mobili.
- Figure 73 e 74.* — Armature per la costruzione dei vólto delle gallerie entro terreni mobili.

Tavola XVI.

- Figura 75.* — Sezione longitudinale di una galleria entro terreni mobili, in corso di esecuzione col sistema d'attacco in tutta sezione e con armatura austriaca.
- Figure 76, 77, 78 e 79.* — Sezioni trasversali in corrispondenza delle diverse fasi del lavoro d'esecuzione della stessa galleria.

Tavola XVII.

- Figure 80 ed 81.* — Sezioni trasversali in corrispondenza della parte totalmente scavata e puntellata coll'armatura inglese e della parte in cui si sta costruendo il rivestimento di una galleria entro terreni mobili, in corso di esecuzione col sistema d'attacco in tutta sezione.

- Figura 82.* — Sezione trasversale del rivestimento danneggiato di una galleria entro terreni mobili, scavata col sistema d'attacco in tutta sezione.
- " 83. — Sezione longitudinale di una galleria entro terreni mobili, in corso d'esecuzione col sistema d'attacco in cunetta e colla costruzione del rivestimento a brevi anelli.
- Figure 84, 85 ed 86.* — Sezioni trasversali in corrispondenza delle principali fasi del lavoro d'esecuzione della stessa galleria.
- Figura 87.* — Sezione longitudinale dell'avanzata inferiore di una galleria entro terreni mobili, in corso d'esecuzione col metodo ordinario d'applicazione del sistema d'attacco in cunetta.

Tavola XVIII.

- Figura 88.* — Sezione trasversale dell'avanzata inferiore di una galleria entro terreni mobili, in corso d'esecuzione col metodo ordinario d'applicazione del sistema d'attacco in cunetta.
- " 89. — Sezione longitudinale di una galleria entro terreni mobili, in corso di esecuzione coll'indicato metodo.
- Figure 90, 91 e 92.* — Sezioni trasversali in corrispondenza delle principali fasi del lavoro.

Tavola XIX.

- Figure 93, 94, 95, 96, 97 e 98,* per dimostrare come si può applicare, nell'esecuzione delle gallerie entro terreni mobili, il metodo d'attacco in cunetta con arco provvisorio.
- Figura 99,* per far vedere come si può scavare un pozzo nelle sabbie bollenti.

Tavola XX.

- Figura 100.* — Sezione longitudinale di una galleria entro sabbie bollenti ed in corso d'esecuzione.
- Figure 101, 102, 103 e 104.* — Sezioni trasversali nelle principali fasi del lavoro di esecuzione di una galleria entro sabbie bollenti.

Tavola XXI.

- Figura 105,* per far vedere le principali fasi del lavoro d'escavazione della galleria del Fréjus.
- Figure 106 e 107.* — Sezione orizzontale e sezione longitudinale nella Galleria del Fréjus in corso d'esecuzione.
- " 108, 109, 110, 111 e 112. — Sezioni trasversali nella stessa galleria.

Tavola XXII.

- Figura* 113, per far vedere le principali fasi del lavoro d'esecuzione della Galleria del Gottardo, dove viene aperta nella roccia resistente.
- Figure* 114 e 115. — Sezione orizzontale e sezione longitudinale nella Galleria del Gottardo in corso d'esecuzione, dove viene aperta nella roccia resistente.
- » 116, 117, 118, 119, 120 e 121. — Sezioni trasversali nella stessa galleria.

Tavola XXIII.

- Figura* 122, per far vedere le principali fasi del lavoro d'esecuzione della Galleria del Gottardo, dove viene aperta in sostanze ferrose.
- Figure* 123, 124, 125, 126 e 127. — Sezioni trasversali e porzioni di sezioni longitudinali dell'avanzata, dell'ingrandimento, dello scavo in calotta, dell'esecuzione del volto, dello strozzo e della costruzione di un piedritto.
- Figura* 128. — Sezione trasversale del lavoro dove si sta eseguendo il secondo piedritto.
- » 129. — Sezione trasversale dell'opera compita.

Tavola XXIV.

- Figura* 130. — Elevazione di fianco della perforatrice Sommeiller — Scala di 1/10.
- » 131. — Proiezione orizzontale — Scala di 1/10.
- » 132. — Sezione longitudinale secondo l'asse della perforatrice — Scala di 1/10.
- » 133. — Sezione trasversale dove esistono gli organi principali per l'avanzamento del sistema percussore — Scala di 1/10.
- » 134. — Sezione trasversale per mettere in evidenza gli organi principali onde ottenere la rotazione dello scarpello — Scala di 1/10.
- Figure* 135, 136 e 137. — Rappresentazione dell'organo principale destinato a regolare l'aria compressa per la percussione — Scala di 1/10.
- » 138 e 139, per dimostrare come si unisce lo scarpello al portascarpello.

Tavola XXV.

- Figura* 140. — Sezione longitudinale della perforatrice Dubois e François — Scala di 1/10.
- » 141. — Porzione di proiezione orizzontale della stessa perforatrice — Scala di 1/10.
- Figure* 142 e 143. — Sezioni trasversali della stessa perforatrice dove esistono gli organi principali per la rotazione dello scarpello — Scala di 1/10.

Tavola XXVI.

- Figura* 144. — Elevazione di fianco di un piccolo affusto destinato a portare due perforatrici Dubois e François — Scala di 1/20.
» 145. — Proiezione orizzontale dello stesso affusto — Scala di 1/20.
» 146. — Telescopio per portare l'aria compressa dalla condotta principale alle perforatrici.

Tavola XXVII.

- Figura* 147. — Sezione longitudinale della perforatrice Ferroux — Scala di 1/10.
» 148. — Proiezione orizzontale della stessa macchina — Scala di 1/10.
» 149. — Porzione di sezione orizzontale — Scala di 1/10.
» 150. — Sezione trasversale in corrispondenza del cilindro motore — Scala di 1/10.
» 151. — Sezione trasversale dove esistono gli organi destinati ad arrestare il cilindro propulsore nel senso laterale — Scala di 1/10.
» 152. — Sezione trasversale per mettere in evidenza gli organi principali destinati a produrre la rotazione dello scarpello — Scala di 1/10.

Tavola XXVIII.

- Figura* 153. — Elevazione di fianco di un grande affusto per le perforatrici Ferroux — Scala di 1/20.
» 154. — Proiezione orizzontale dello stesso affusto — Scala di 1/20.
» 155. — Elevazione posteriore dello stesso apparecchio — Scala di 1/20.
» 156. — Sezioni trasversali presso la fronte anteriore — Scala di 1/20.

Tavola XXIX.

- Figura* 157. — Rappresentazione della macchina conosciuta sotto il nome di burbera — Scala di 1/50.
» 158. — Rappresentazione della macchina conosciuta sotto il nome di asse nella ruota — Scala di 1/75.
» 159. — Rappresentazione di un maneggio a cavalli — Scala di 1/100.

Tavola XXX.

- Figura* 160. — Proiezione orizzontale di un maneggio a vapore con locomobile — Scala di 1/100.
» 161. — Elevazione sul fianco e parte di sezione longitudinale dello stesso maneggio — Scala di 1/100.
» 162. — Elevazione sulla fronte posteriore e parte di sezione trasversale dello stesso apparecchio — Scala di 1/100.
» 163. — Estremità di funi rotonde per la sospensione dei secchioni.

Tavola XXXI.

- Figura* 164. — Proiezione e parte di sezione orizzontale di un maneggio a vapore con macchina fissa — Scala di 1/100.
- » 165. — Elevazione sul fianco e parte di sezione longitudinale dello stesso maneggio — Scala di 1/100.
- » 166. — Elevazione sulla fronte posteriore e parte di sezione trasversale dello stesso apparecchio — Scala di 1/100.
- » 167. — Estremità di funi piatte per la sospensione delle finozze.

Fig. 6.

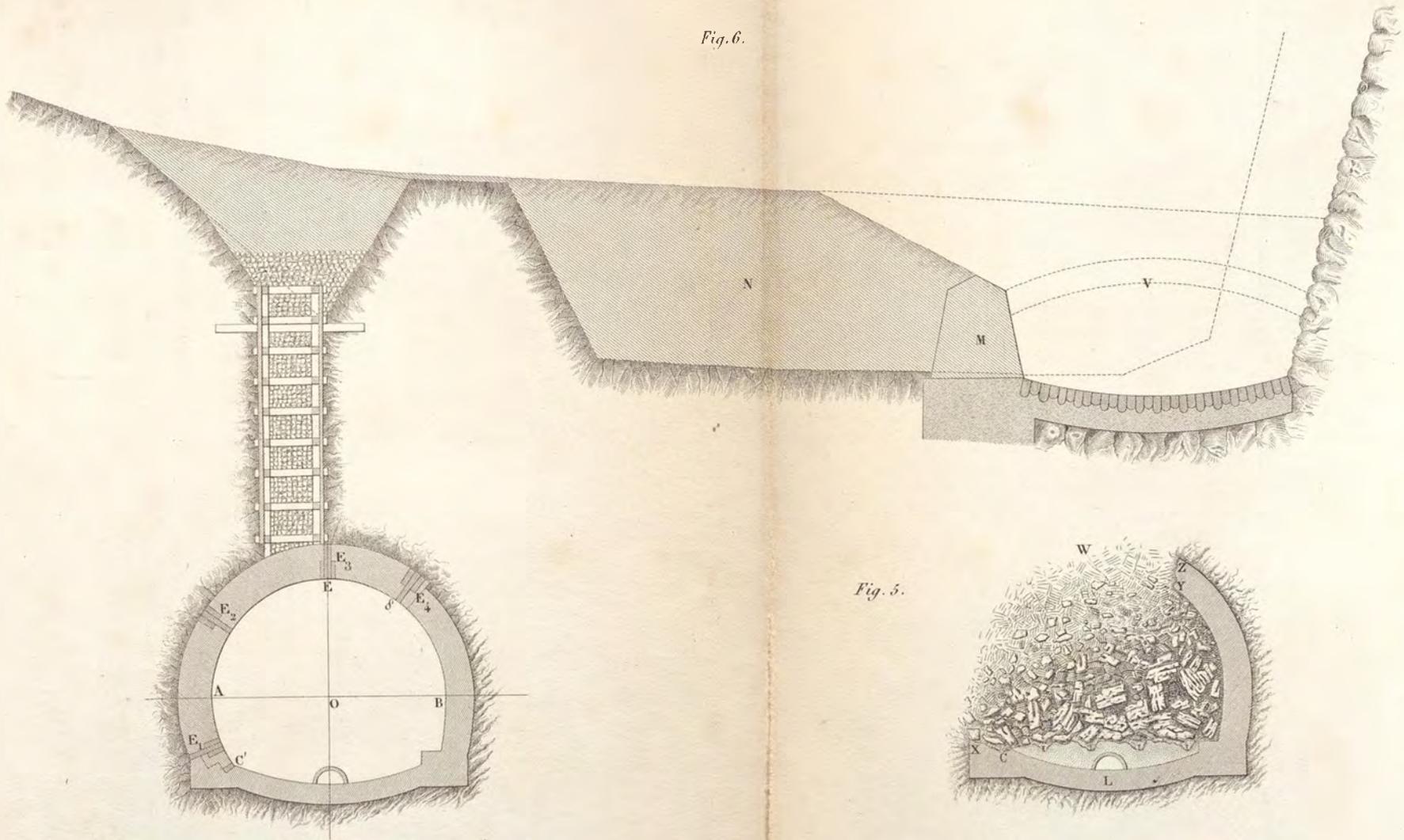


Fig. 5.

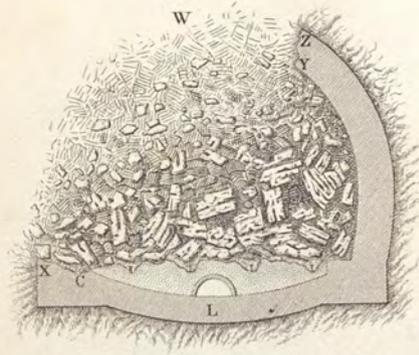




Fig. 8.

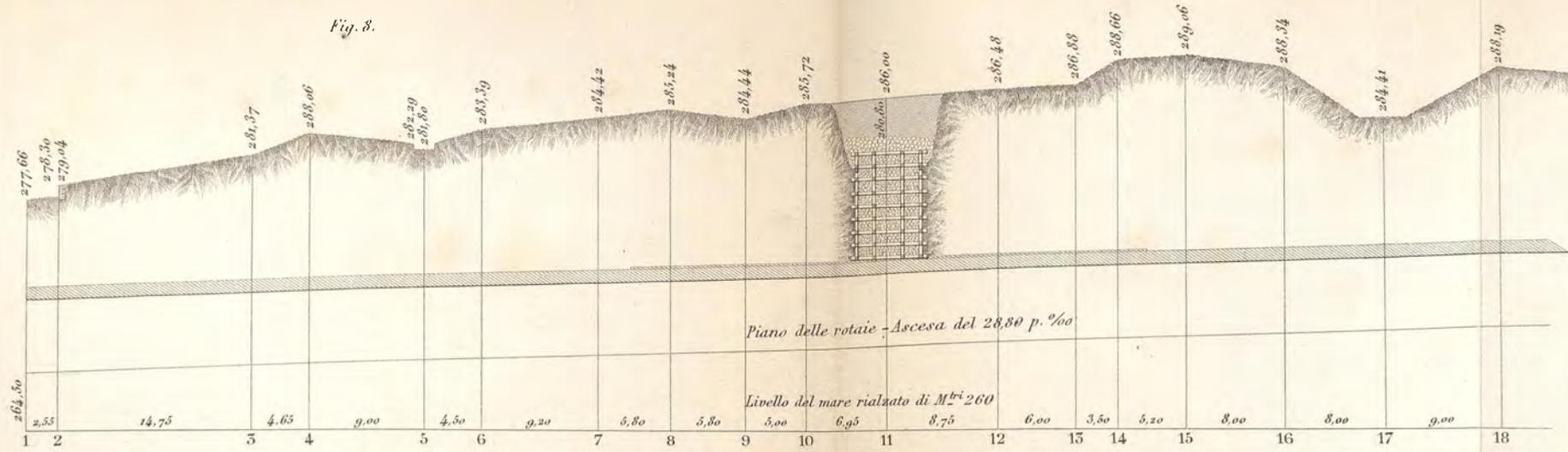


Fig. 7.

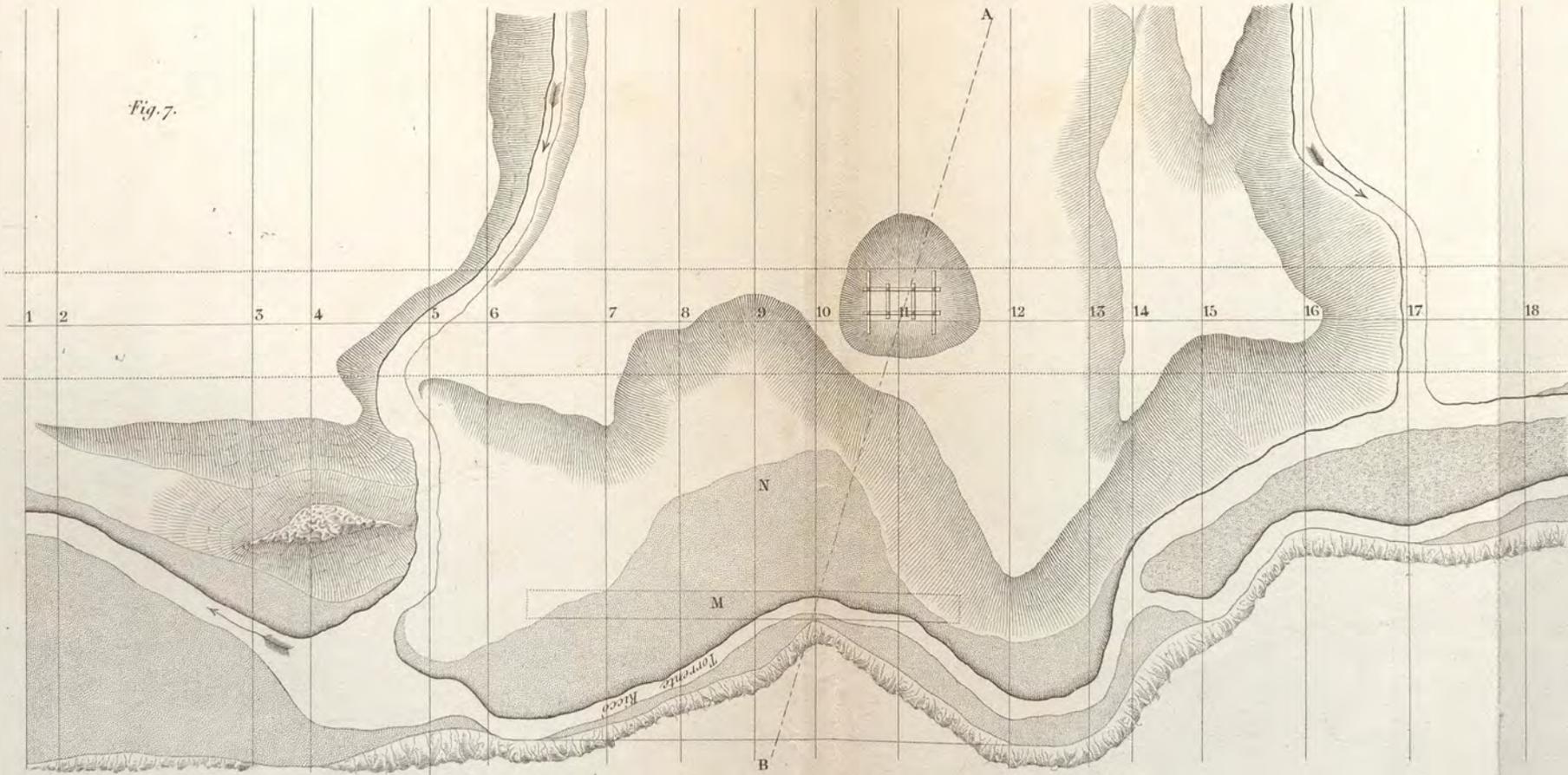


Fig. 9.

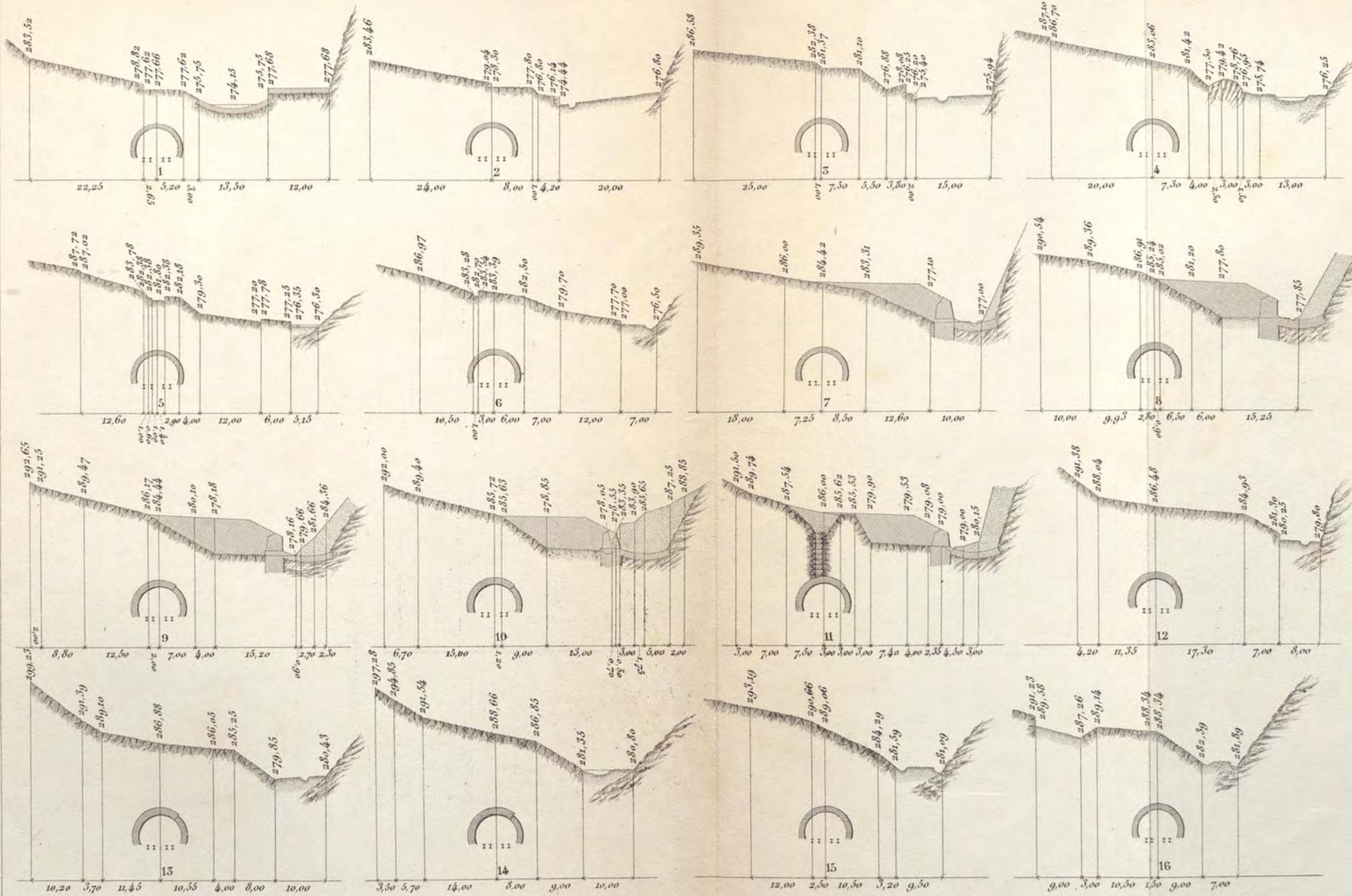


Fig. 10.

Fig. 11.

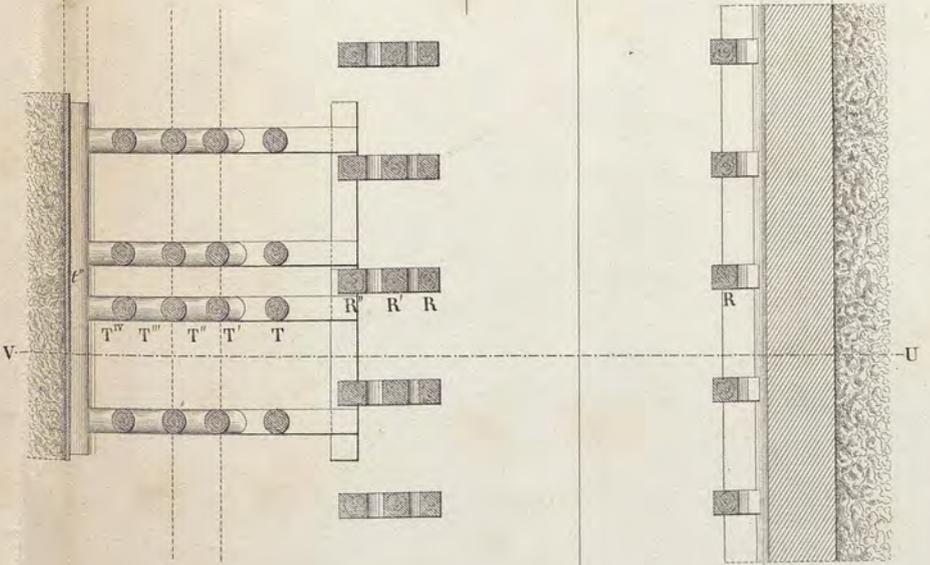
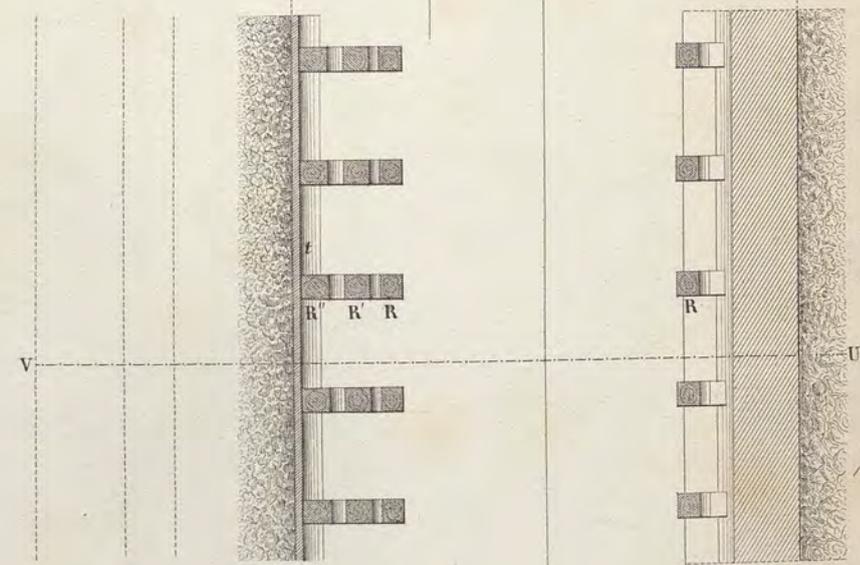
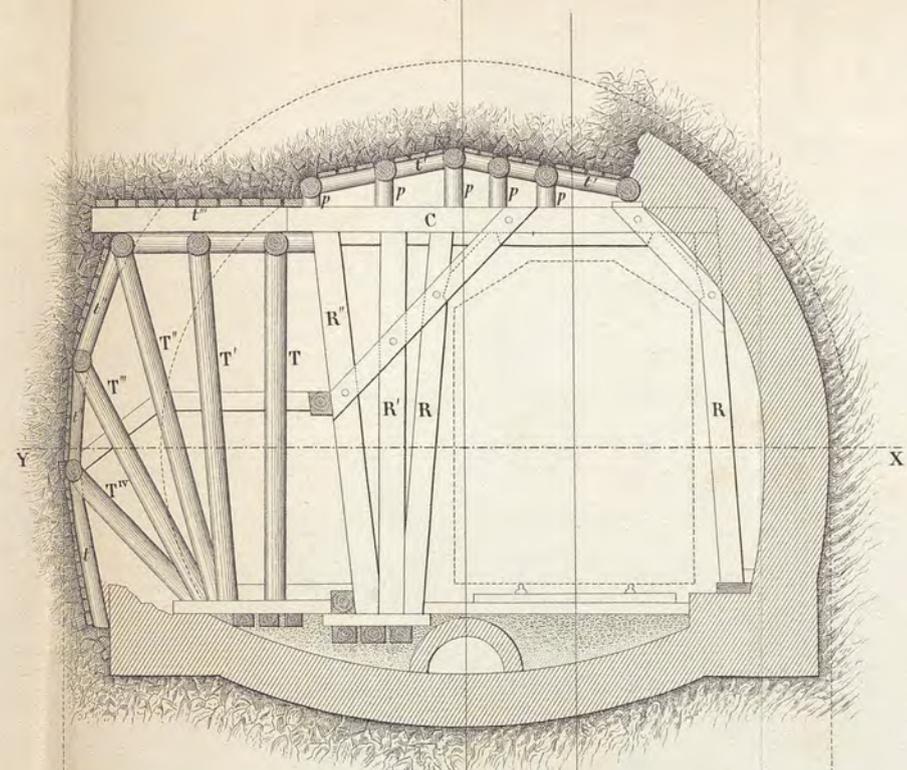
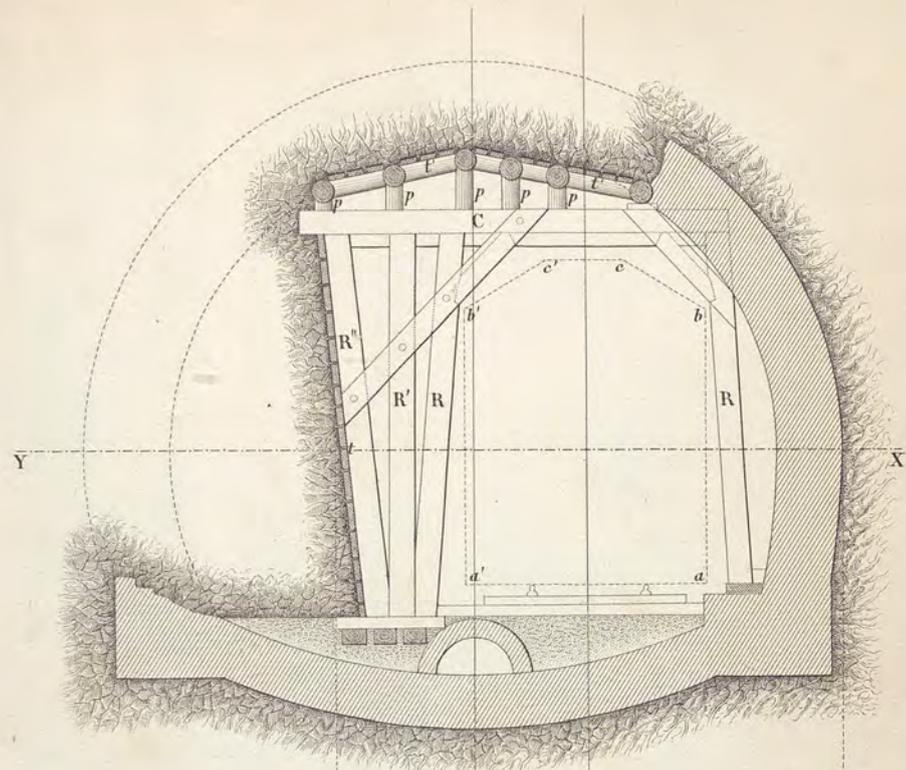


Fig. 12.

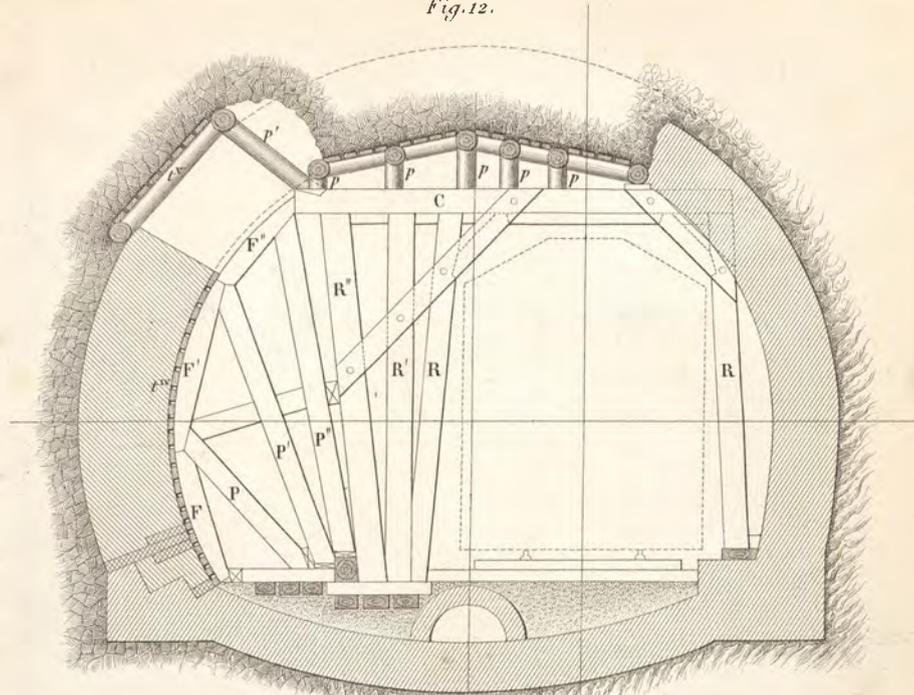


Fig. 14.

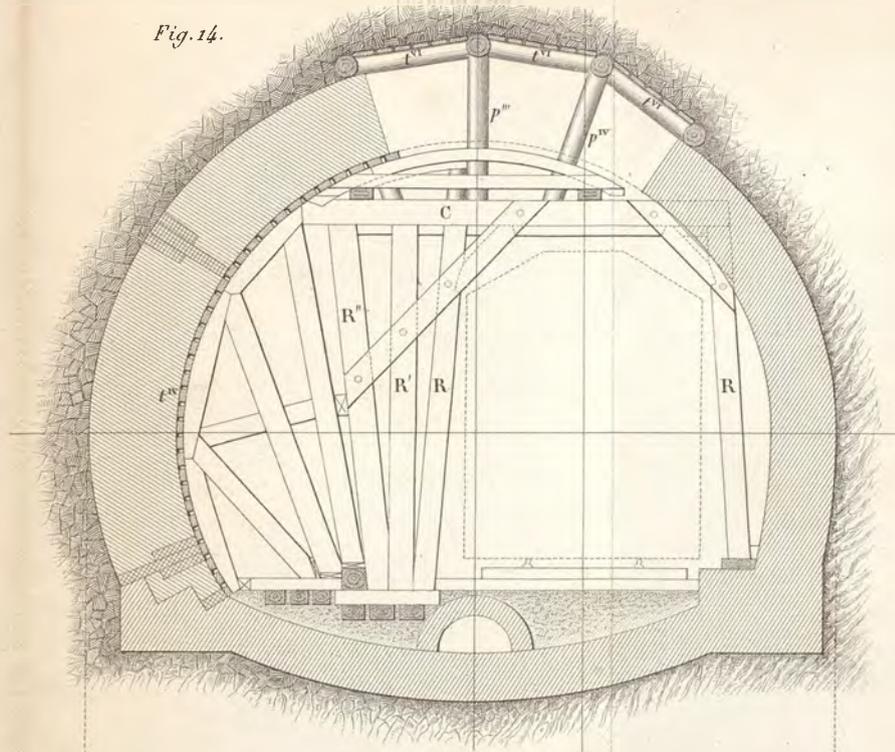
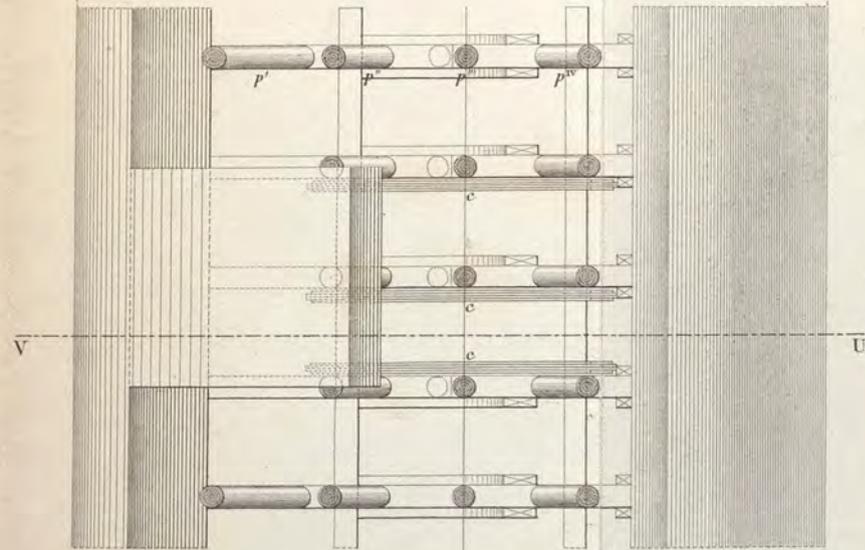
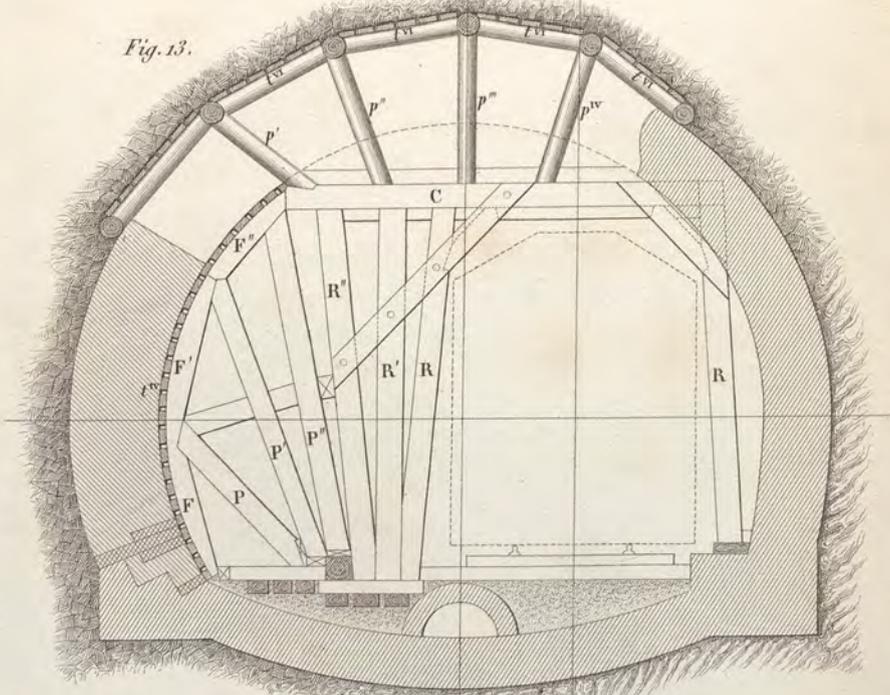
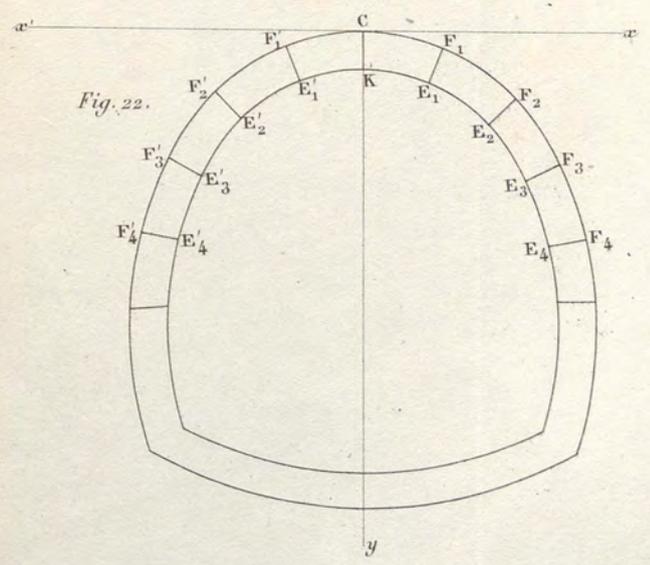
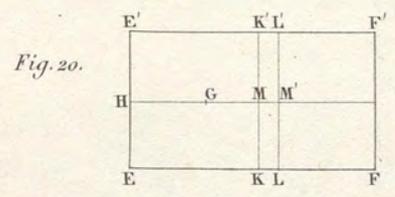
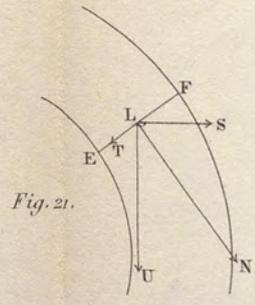
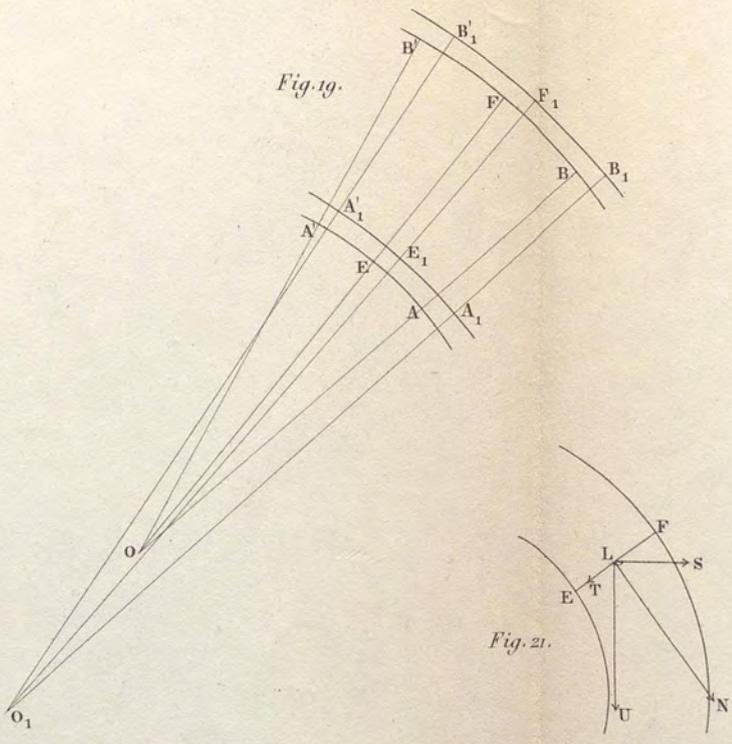
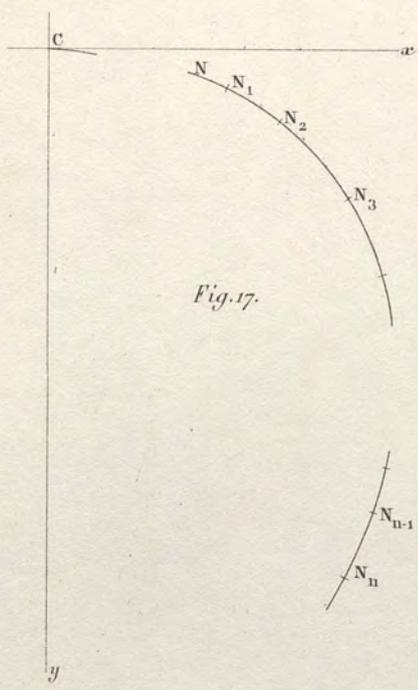
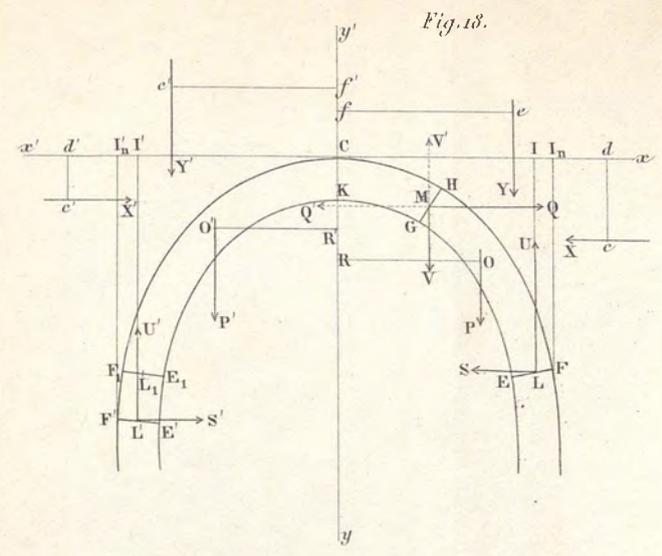
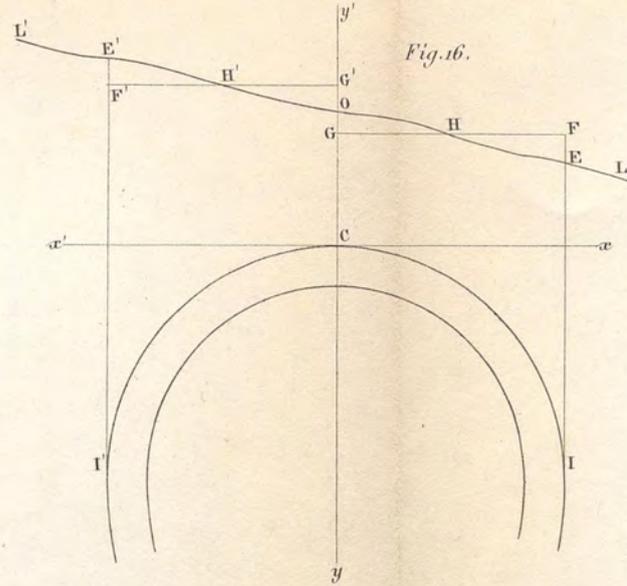
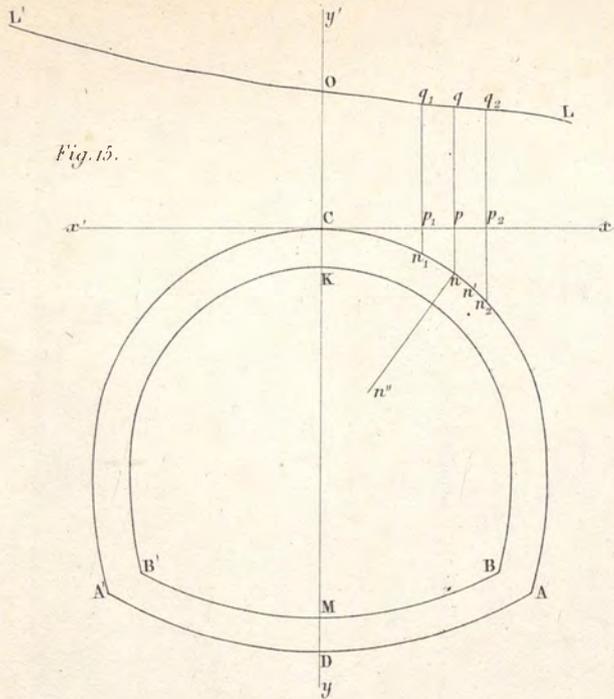


Fig. 13.





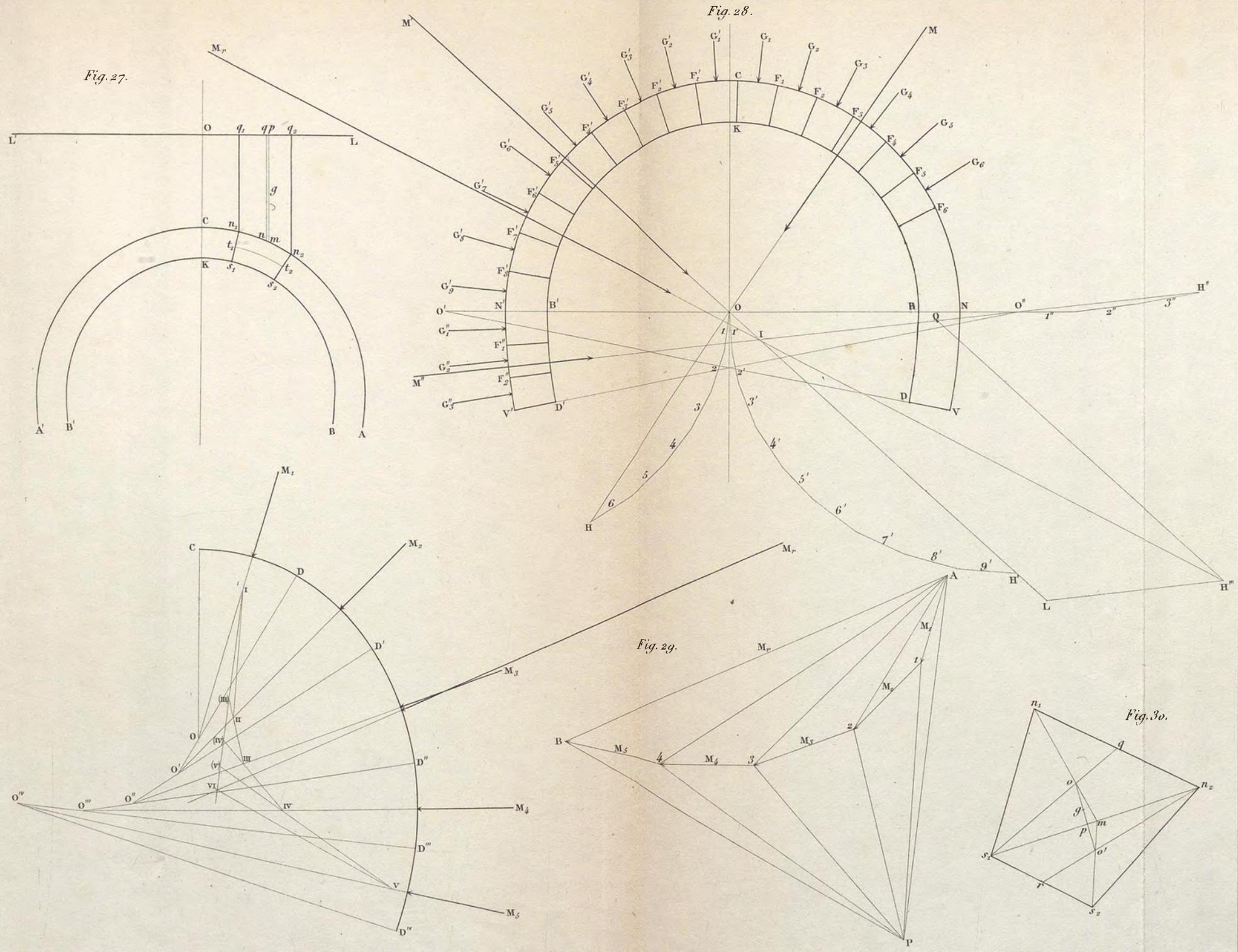


Fig. 31.

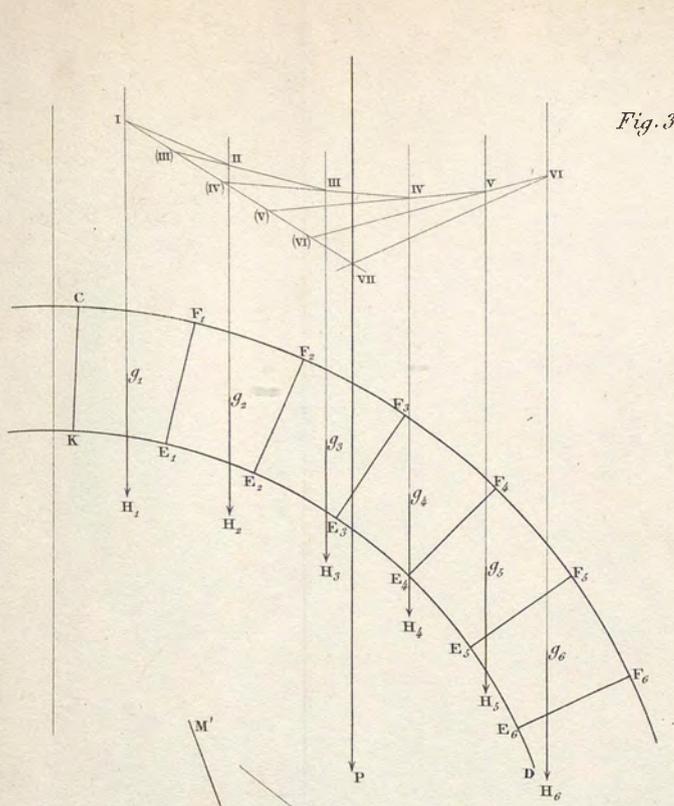


Fig. 32.

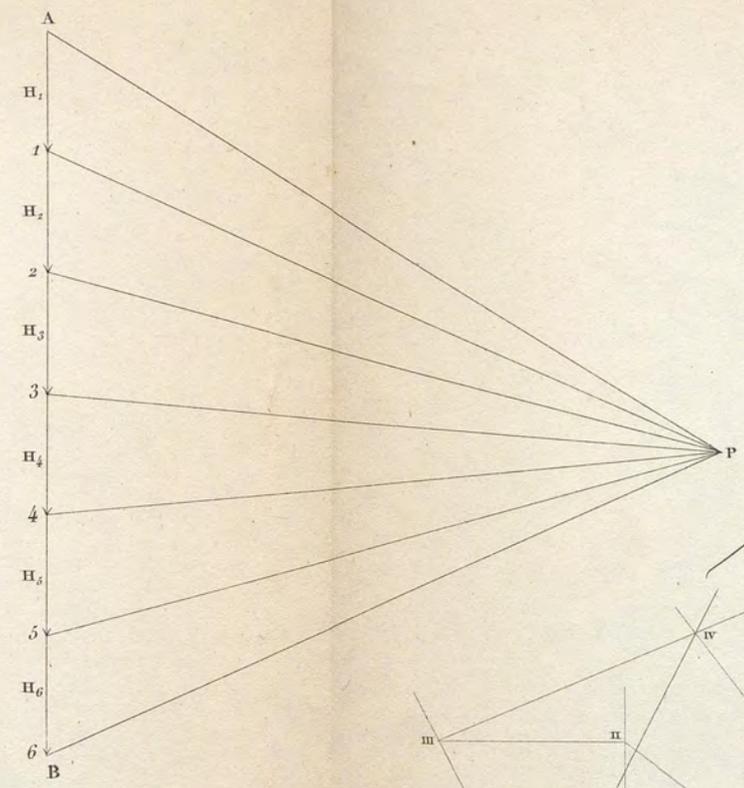
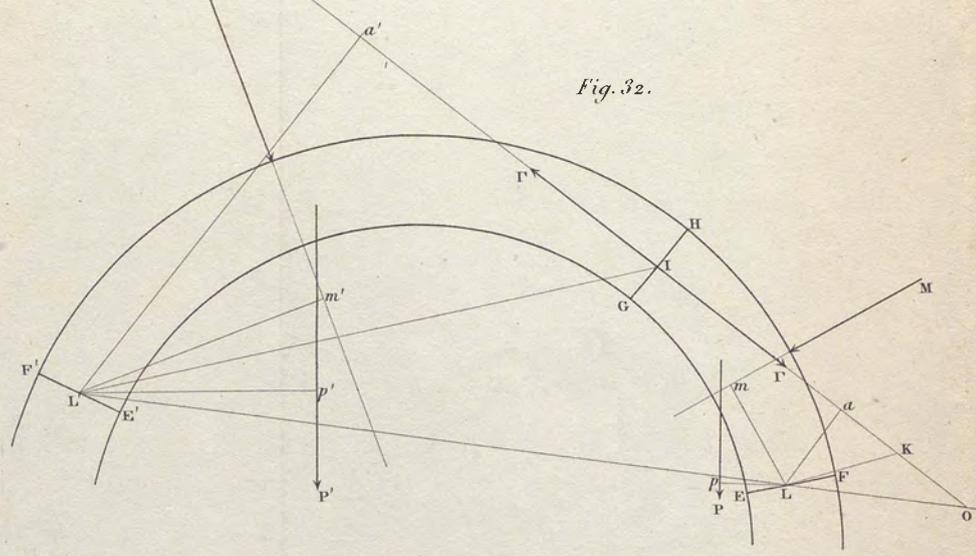


Fig. 33.

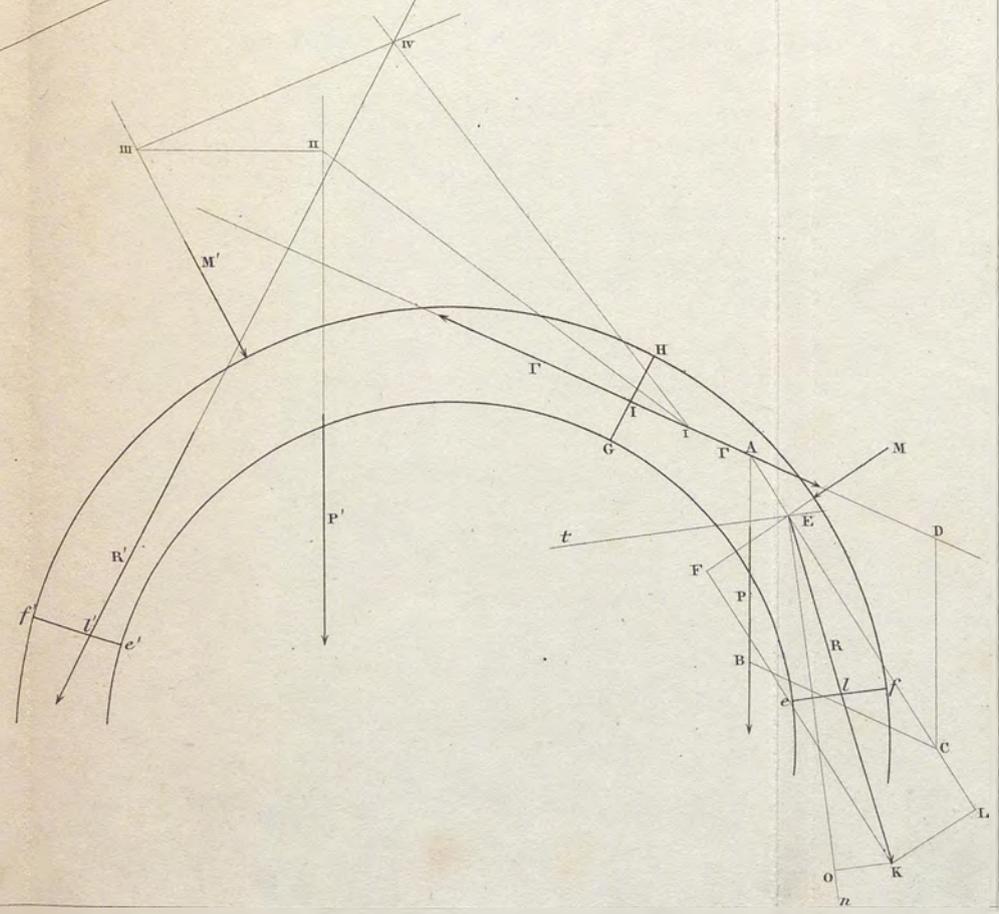
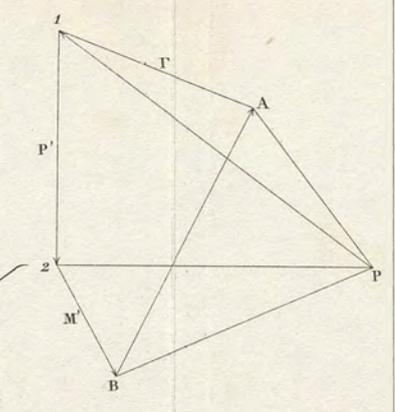


Fig. 35.

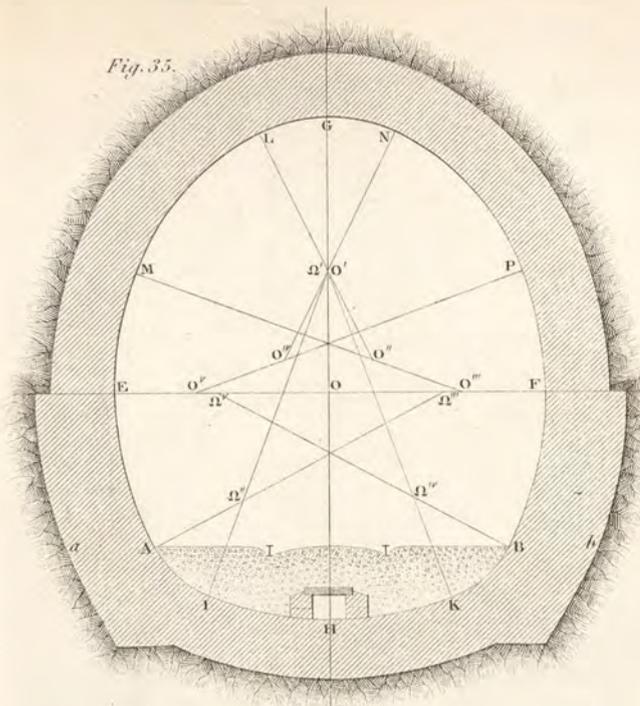


Fig. 34.

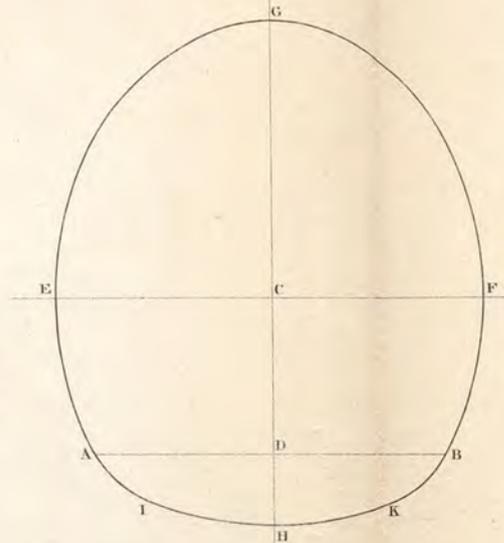


Fig. 36.

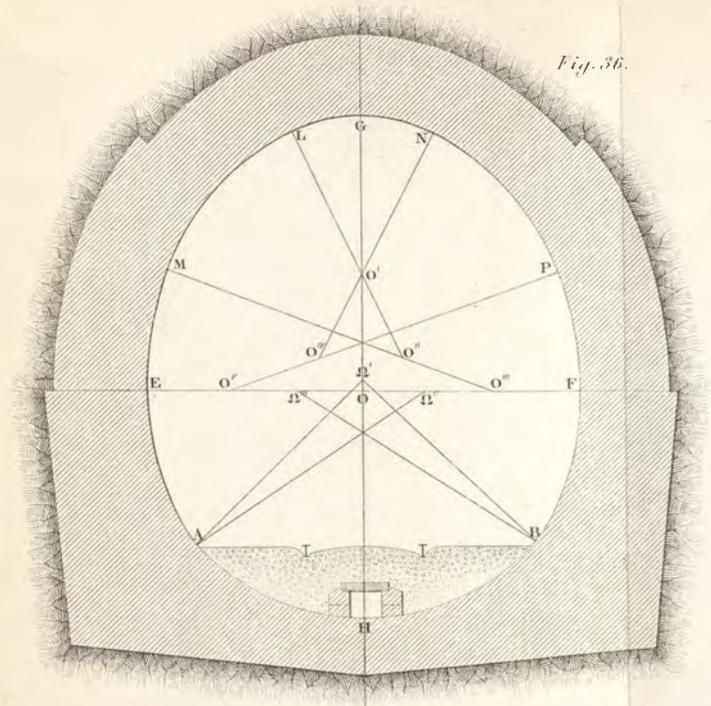


Fig. 37.

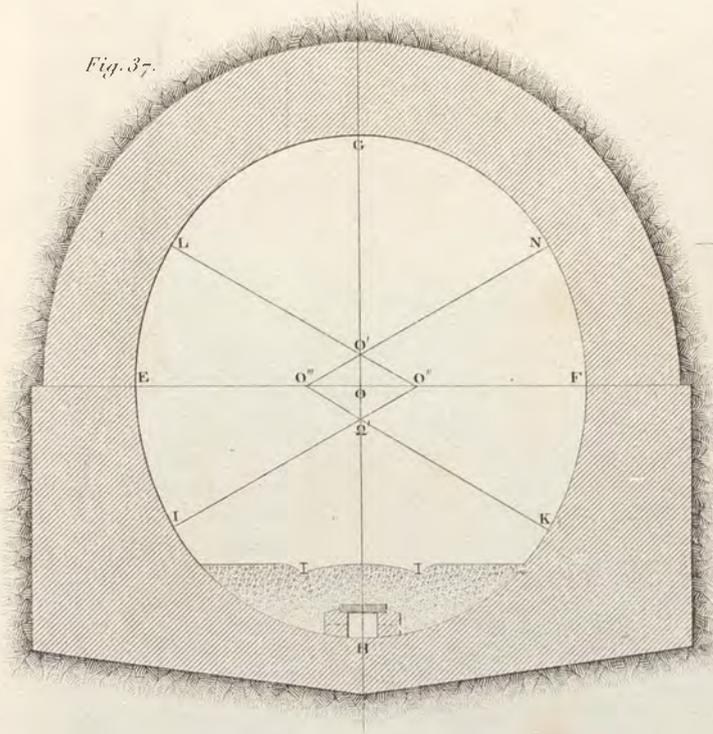


Fig. 38.

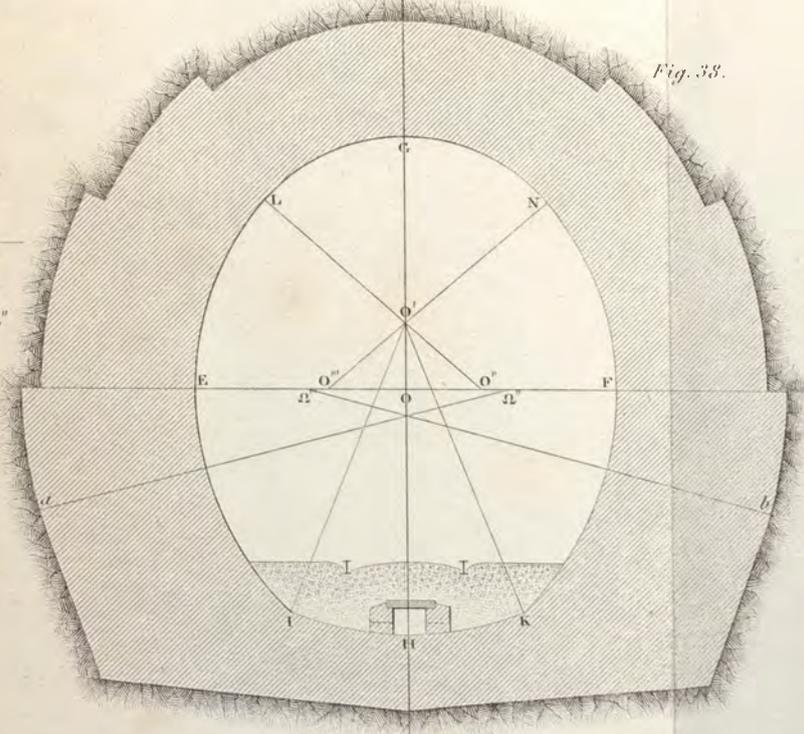
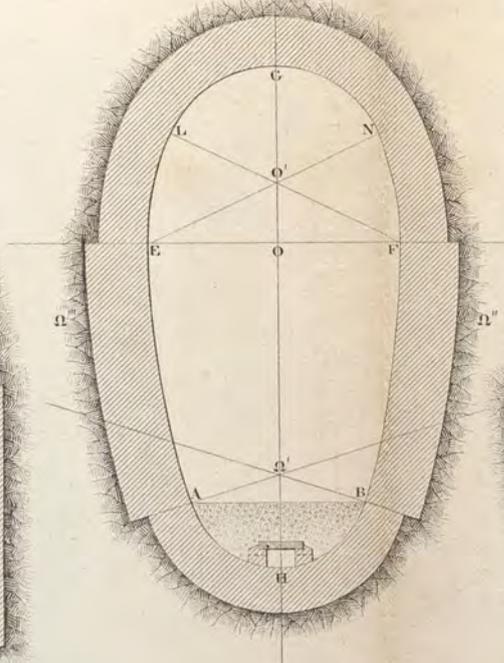


Fig. 39.



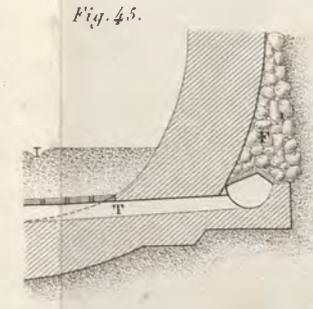
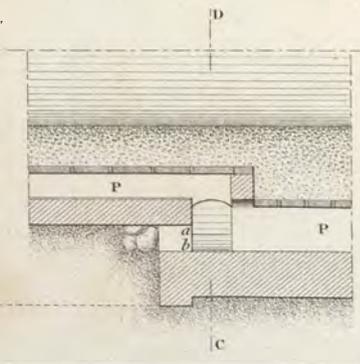
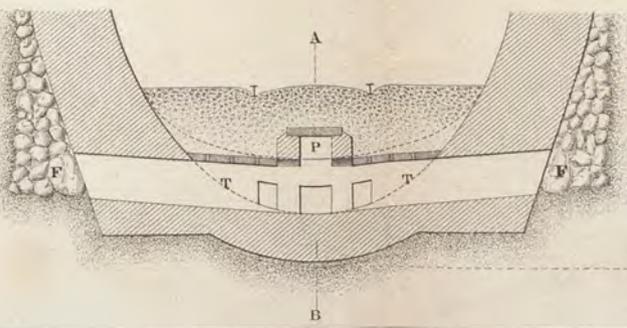
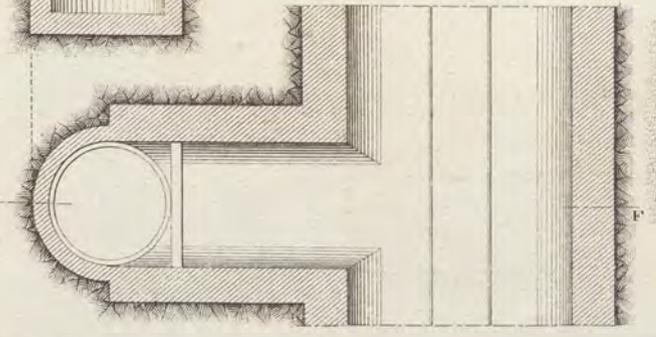
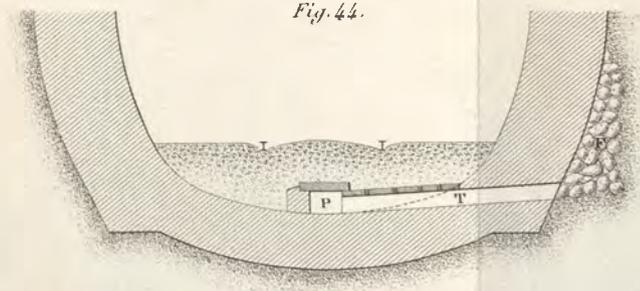
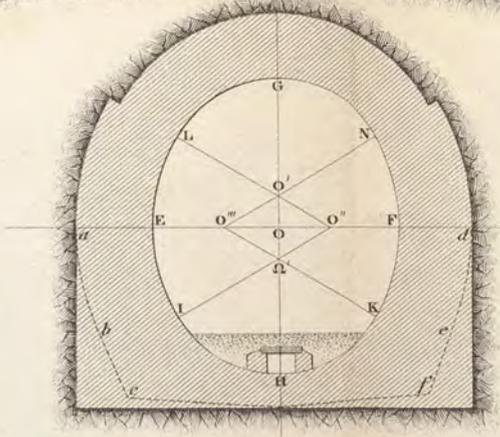
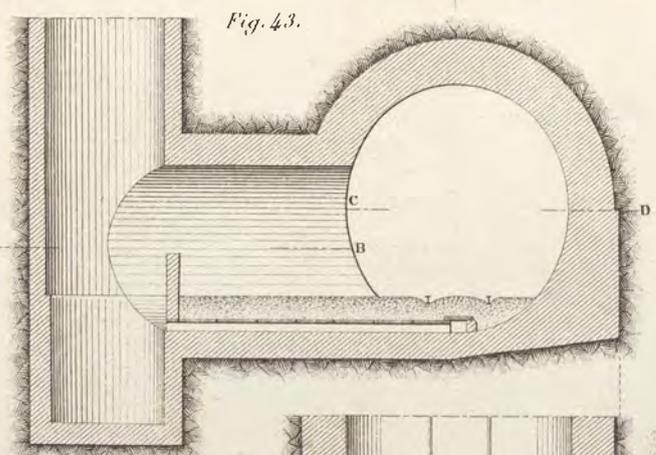
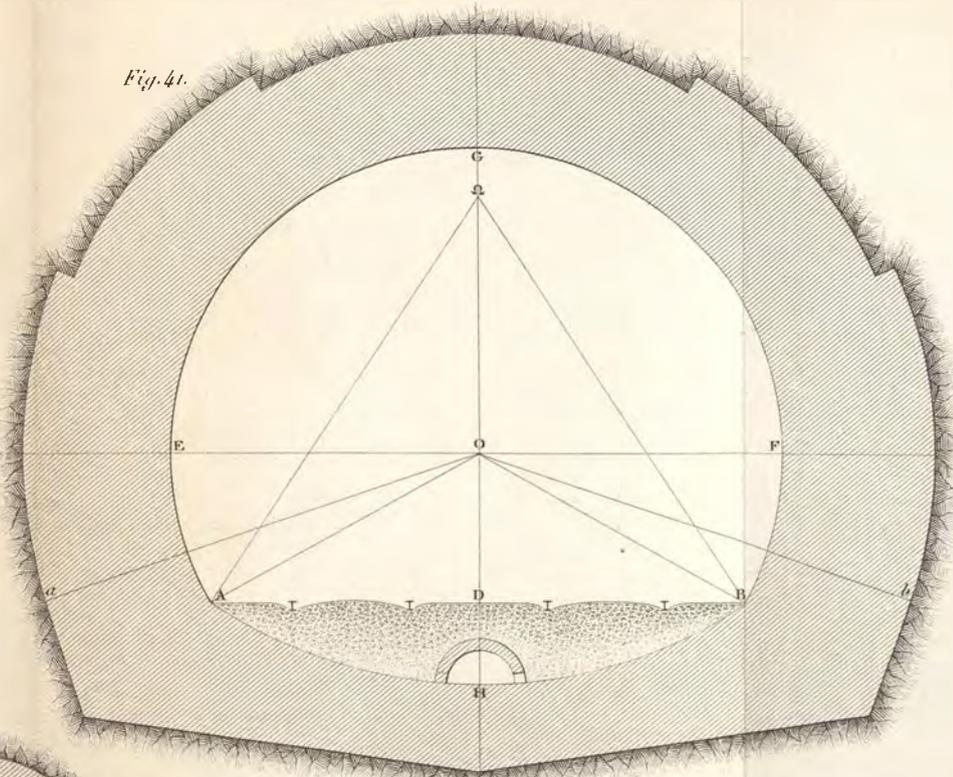
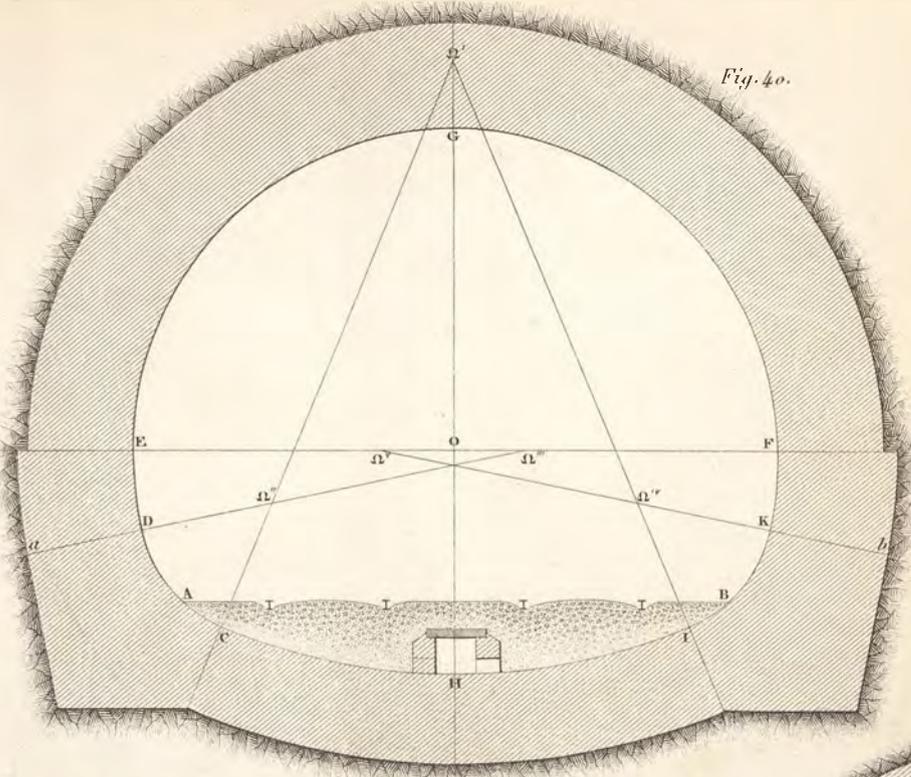


Fig. 47.

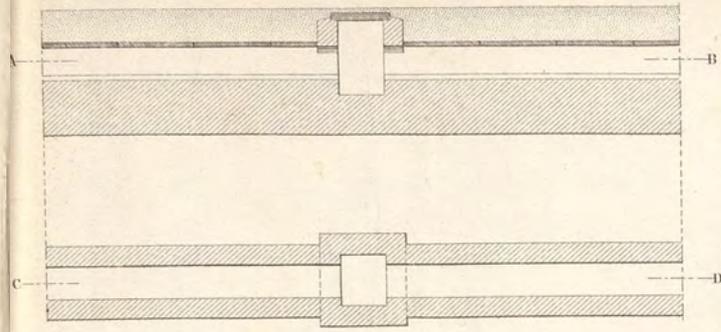


Fig. 51.

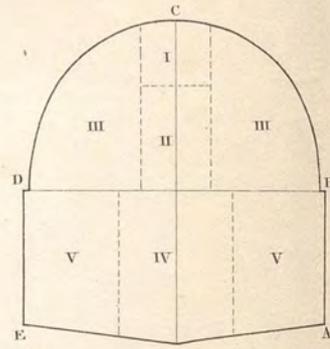


Fig. 53.

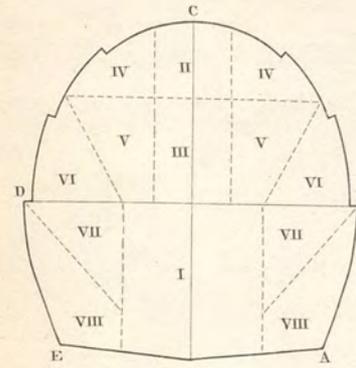


Fig. 55.

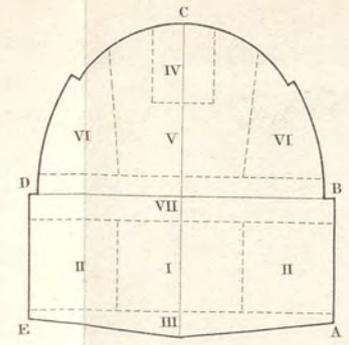


Fig. 48.

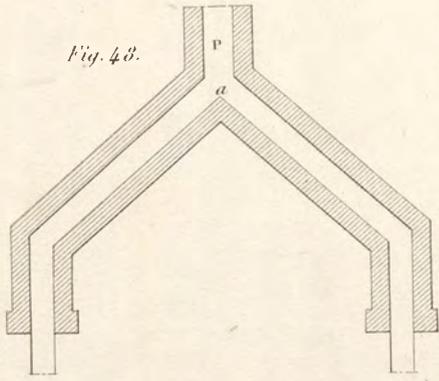


Fig. 52.

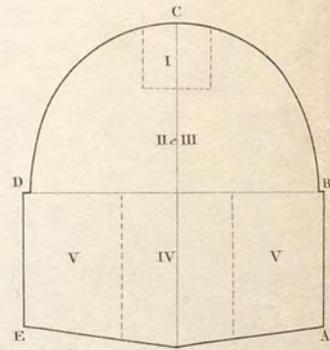


Fig. 54.

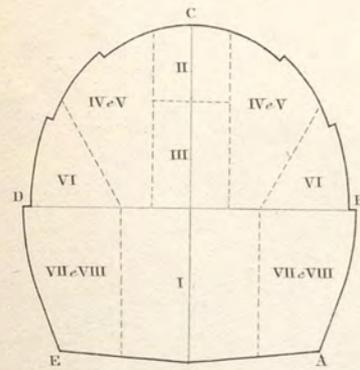


Fig. 56.

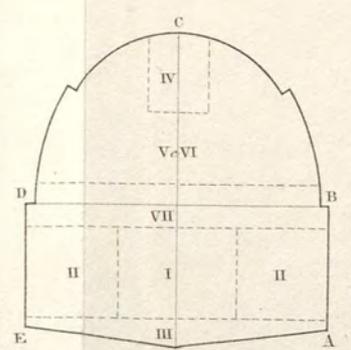


Fig. 50.

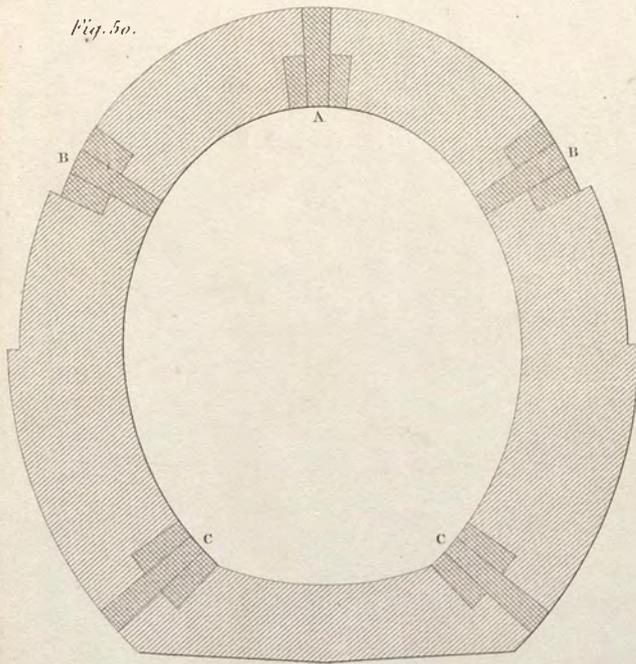


Fig. 49.

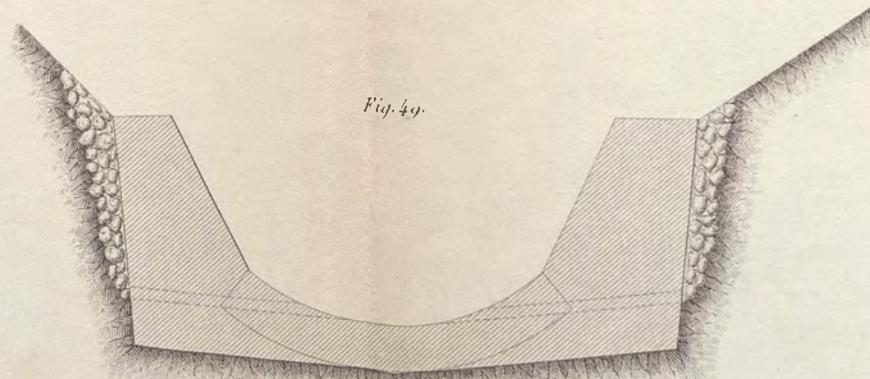


Fig. 57.

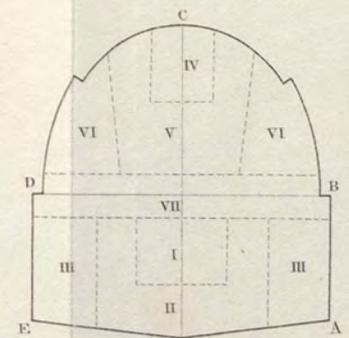


Fig. 58.

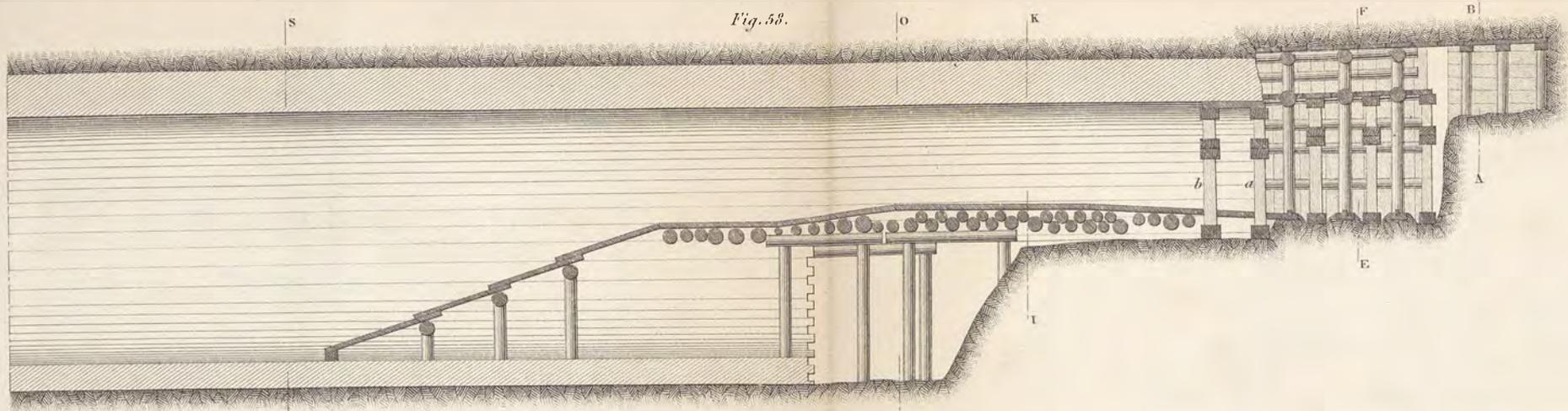


Fig. 59.

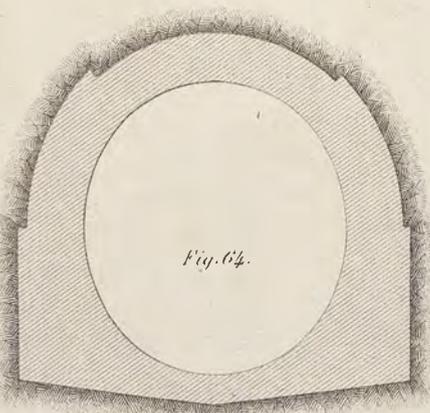
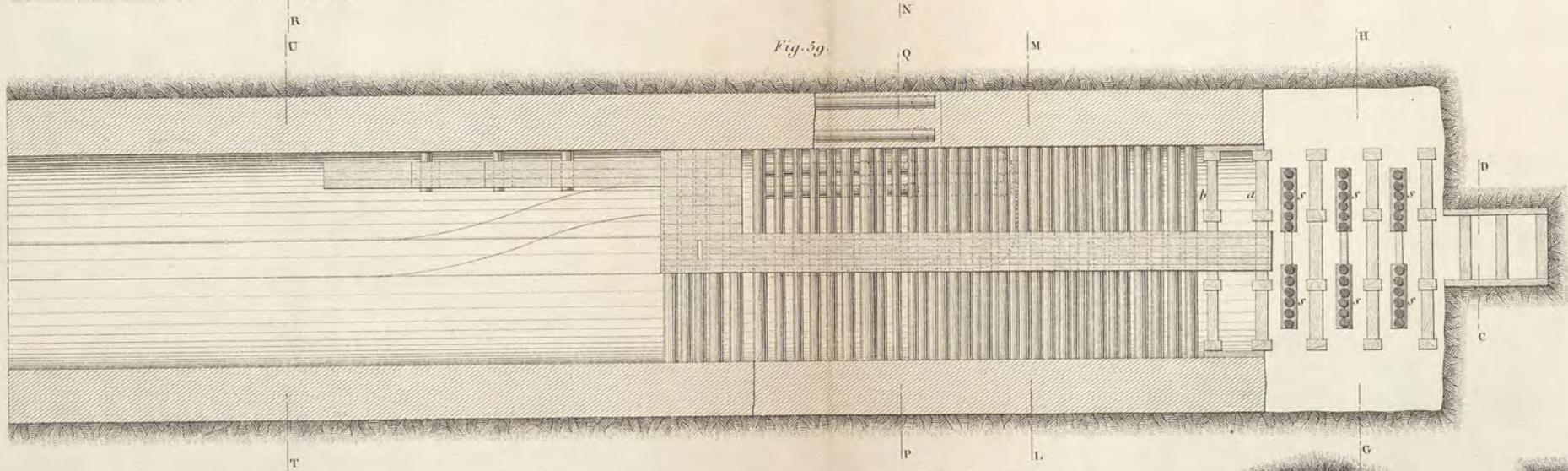


Fig. 64.

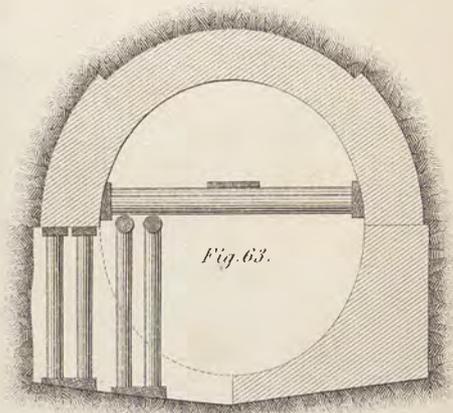


Fig. 63.

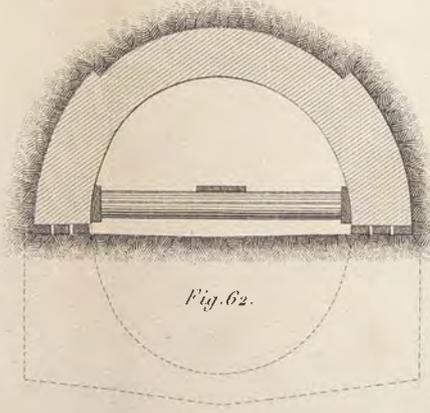


Fig. 62.

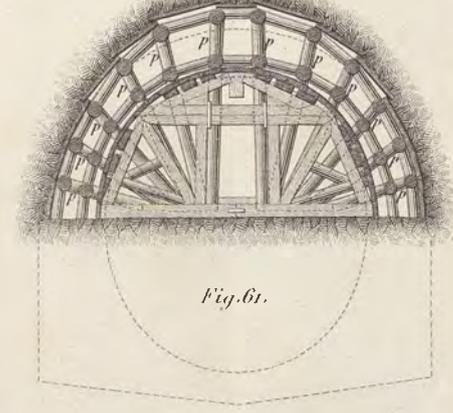


Fig. 61.



Fig. 60.

Fig. 72.

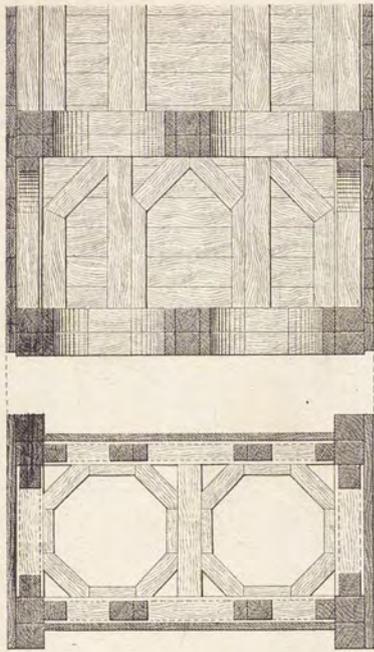


Fig. 65.

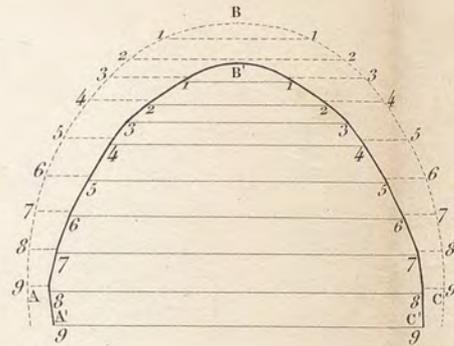


Fig. 66.

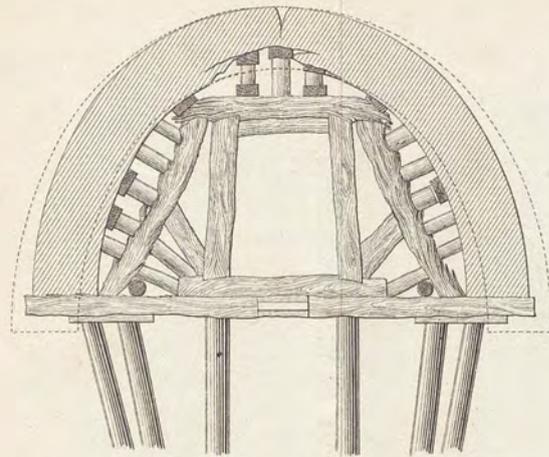


Fig. 69.

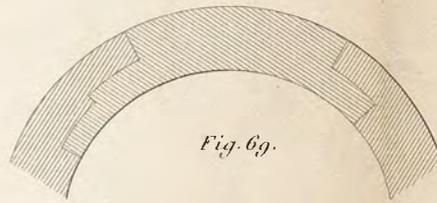


Fig. 68.

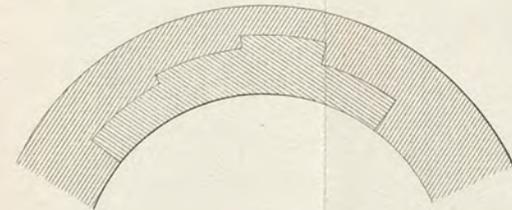


Fig. 73.

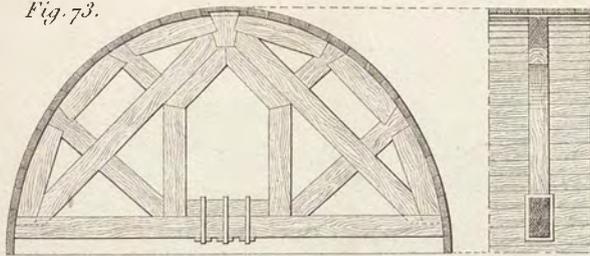


Fig. 70.

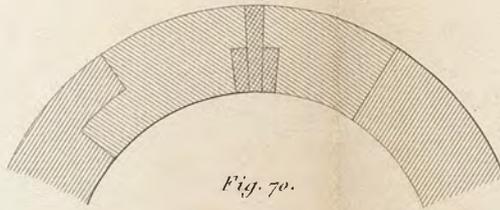


Fig. 67.

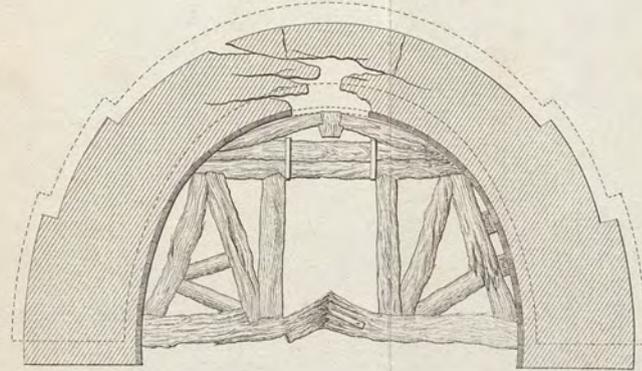


Fig. 74.

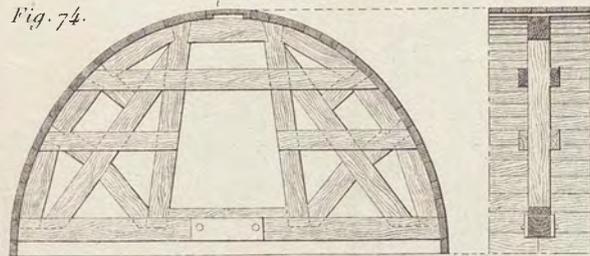


Fig. 71.

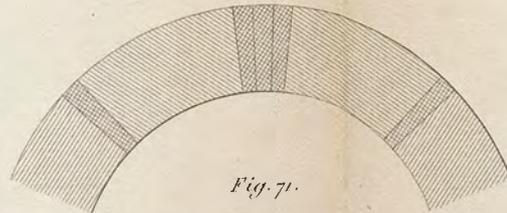


Fig. 75.

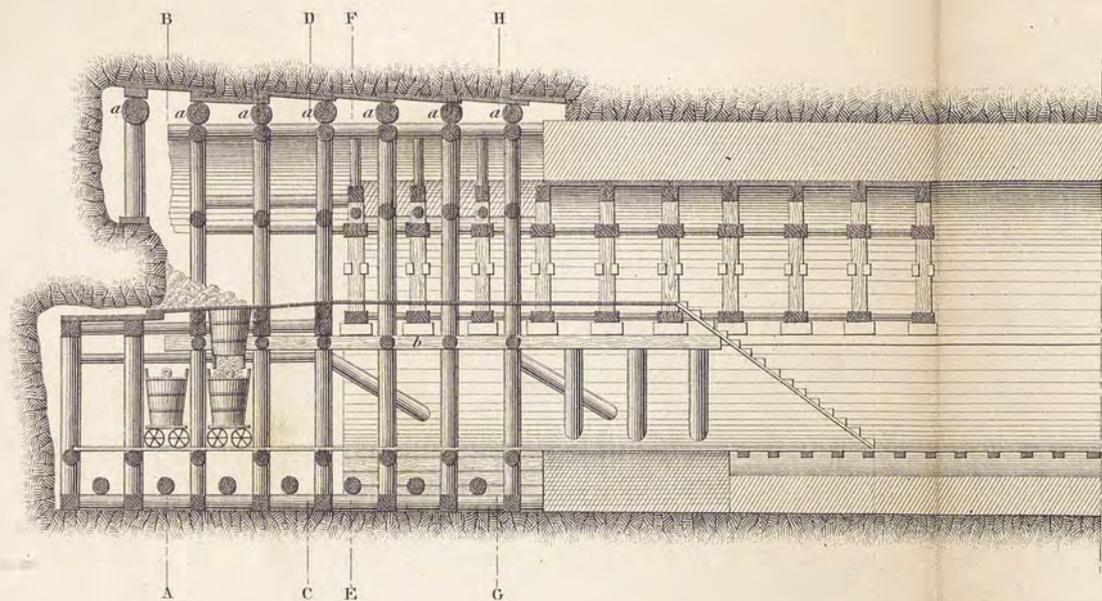


Fig. 76.

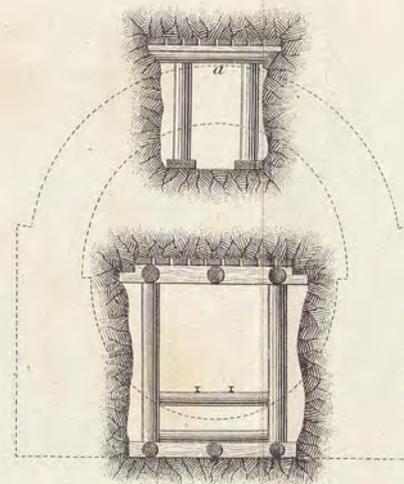


Fig. 77.

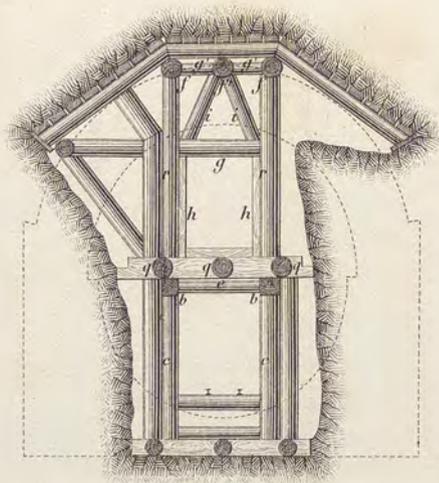


Fig. 78.

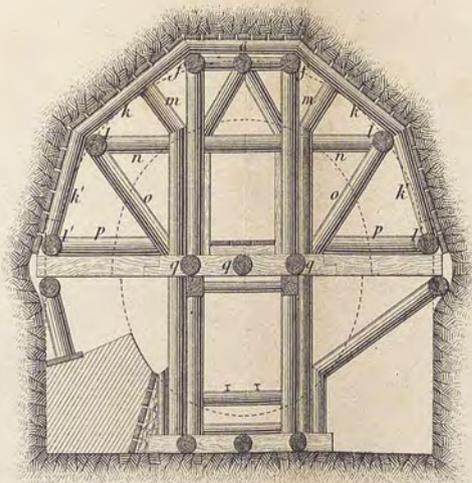


Fig. 79.

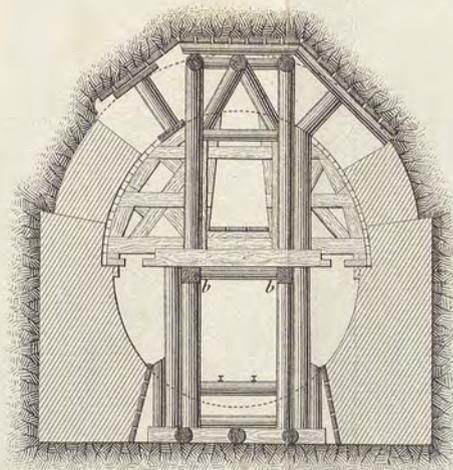


Fig. 80.

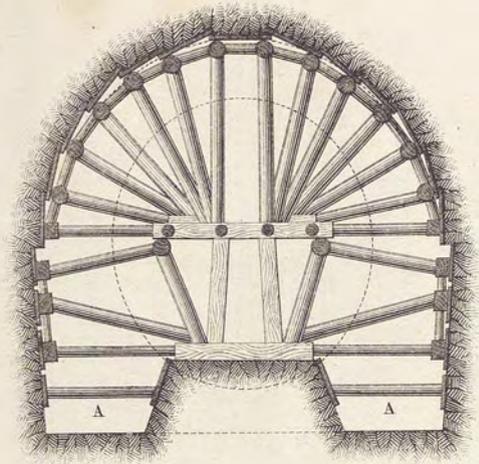


Fig. 81.

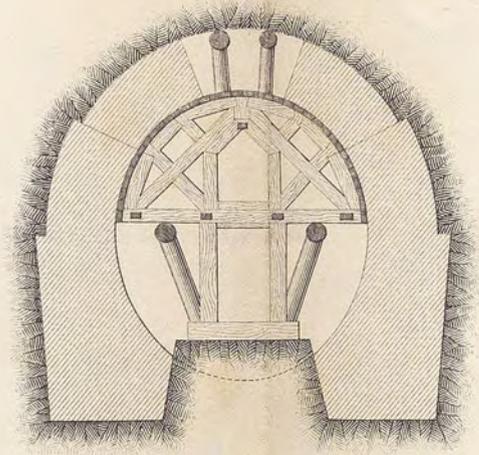


Fig. 82.

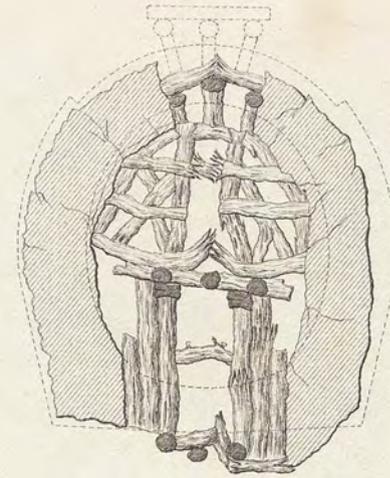


Fig. 84.

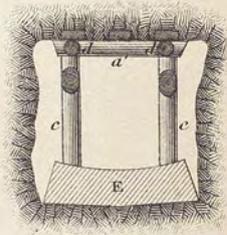


Fig. 87.

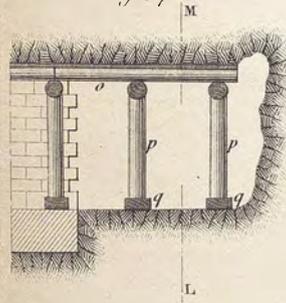


Fig. 83.

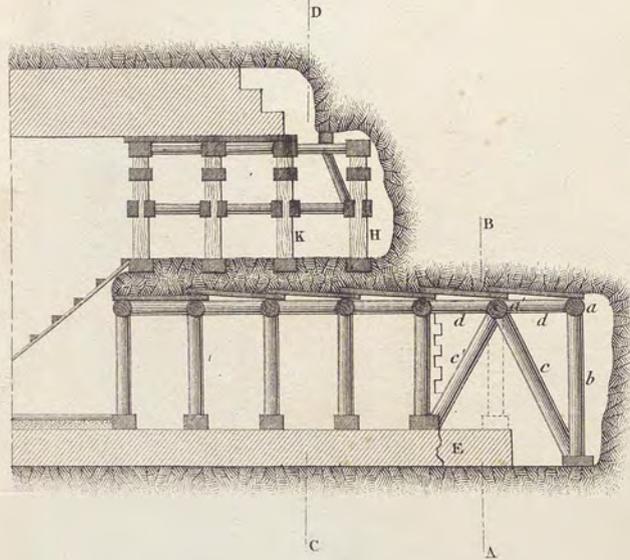


Fig. 86.

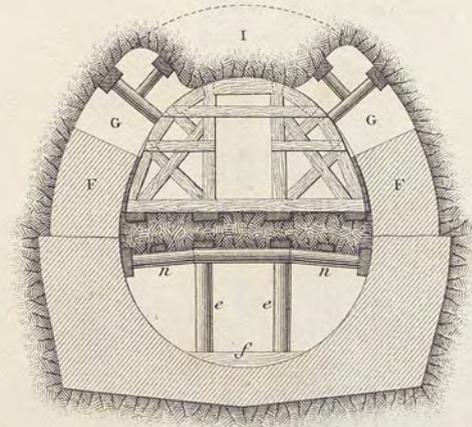


Fig. 85.

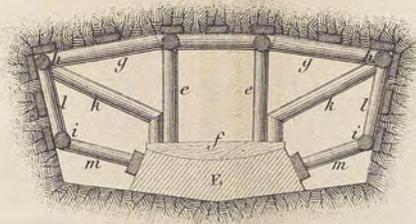


Fig. 89.

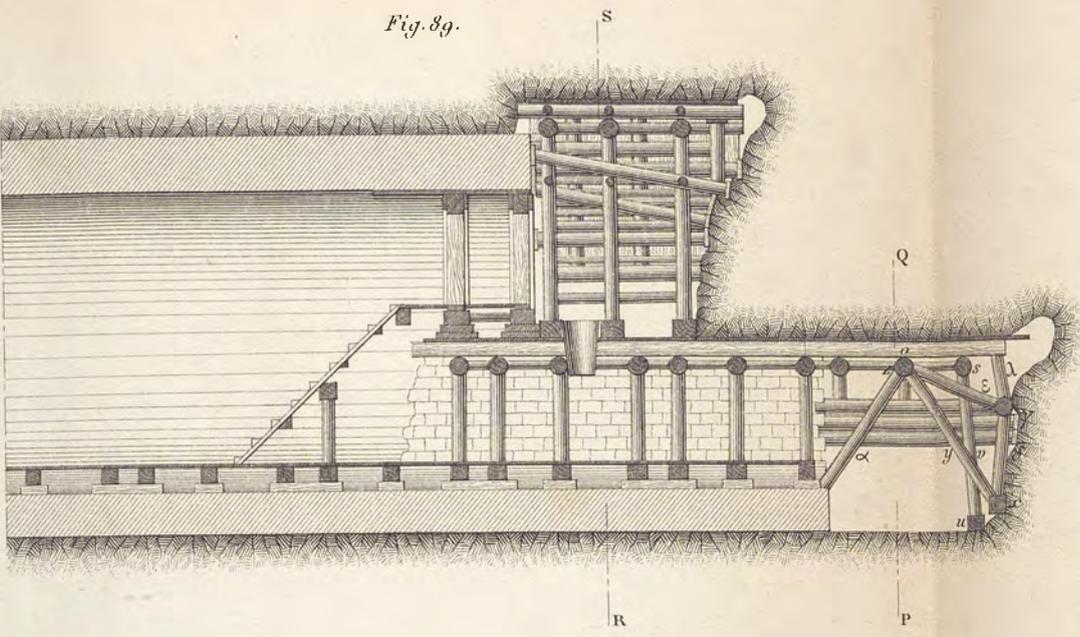


Fig. 88.

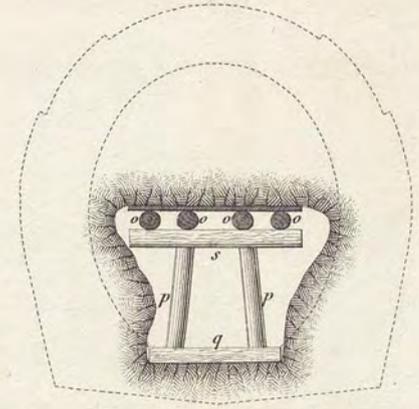


Fig. 92.

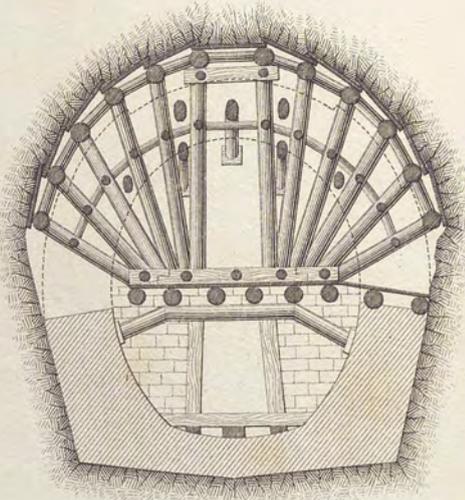


Fig. 91.

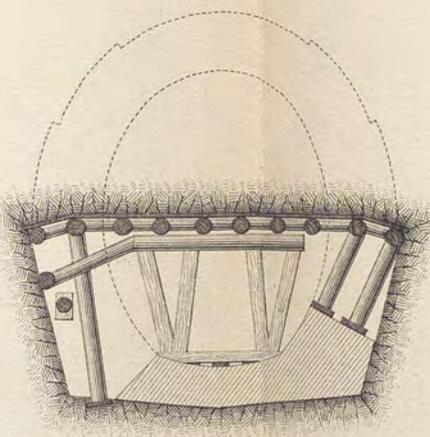


Fig. 90.

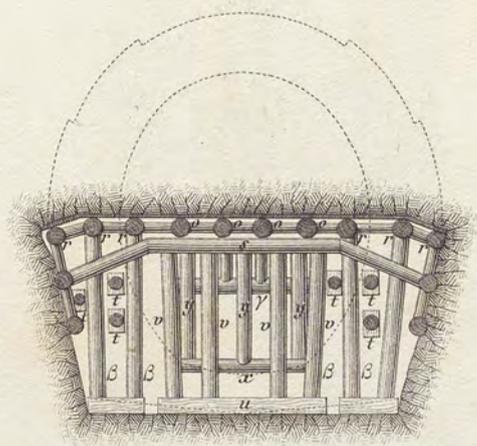


Fig. 93.

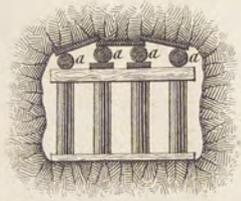


Fig. 94.

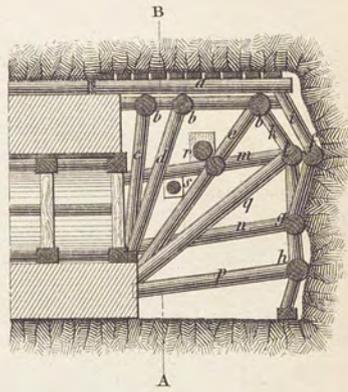


Fig. 95.

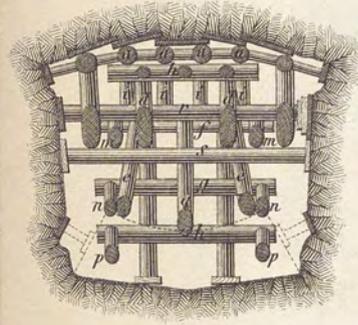


Fig. 99.

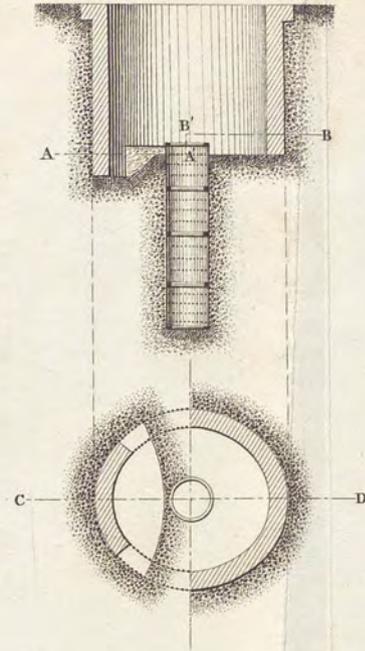


Fig. 96.

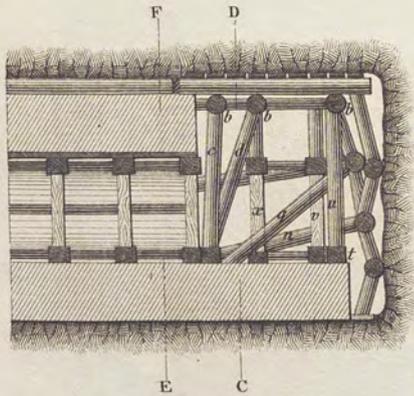


Fig. 97.

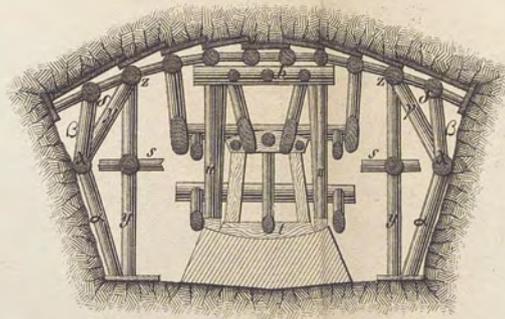


Fig. 98.

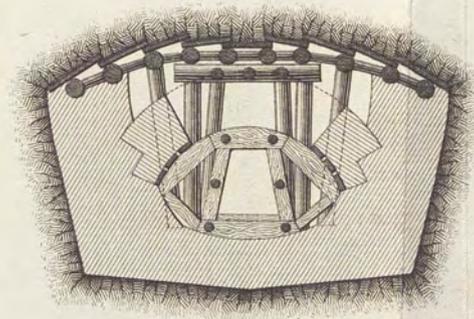


Fig. 100.

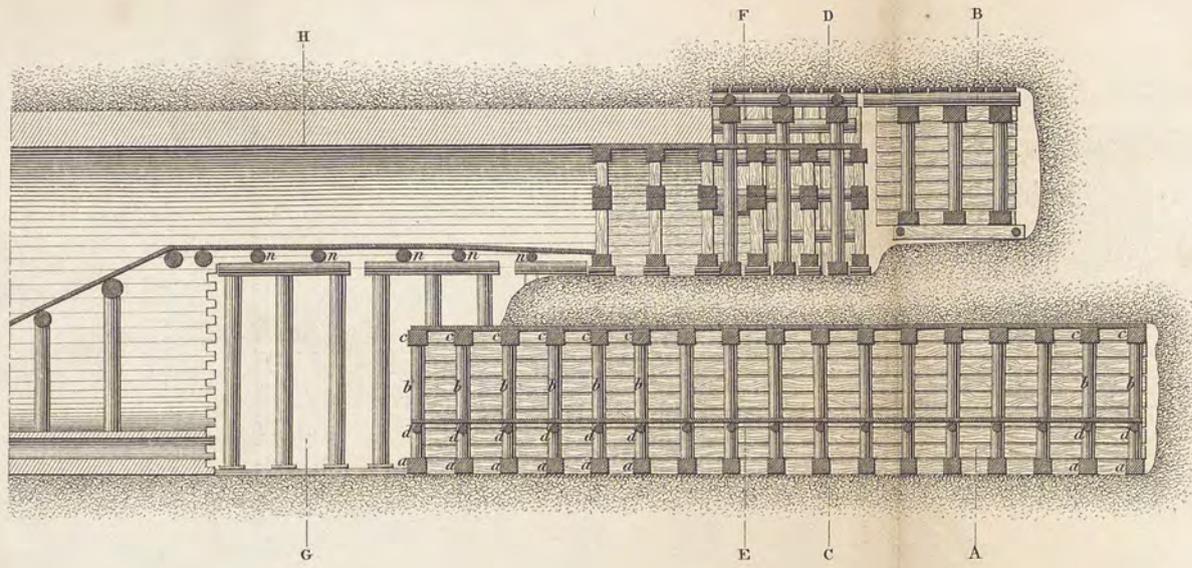


Fig. 101.

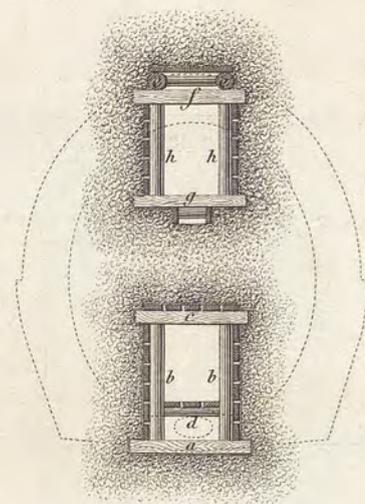


Fig. 102.

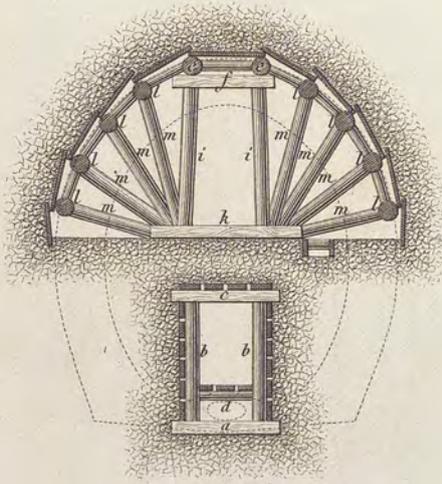


Fig. 103.

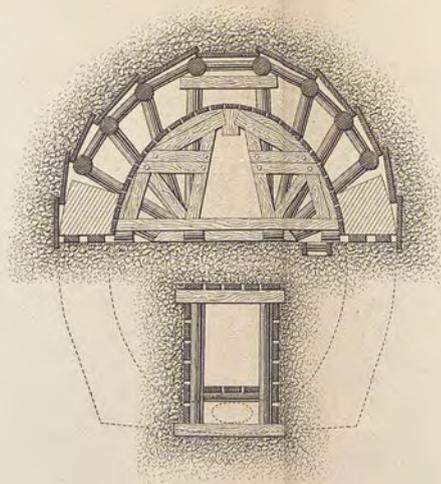
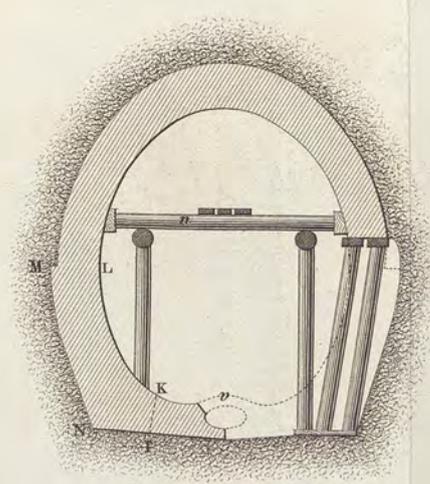


Fig. 104.



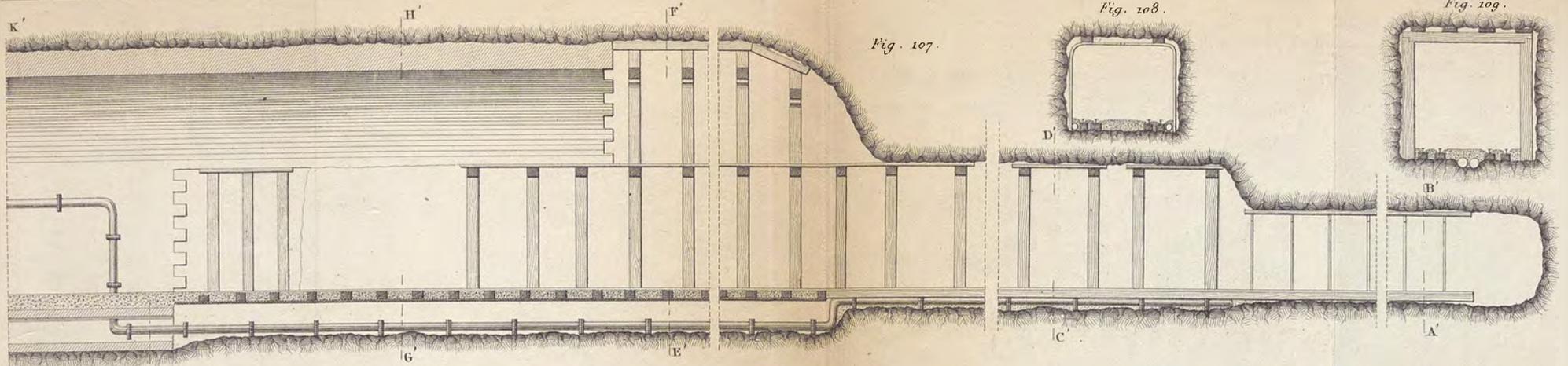


Fig. 107.

Fig. 108.

Fig. 109.

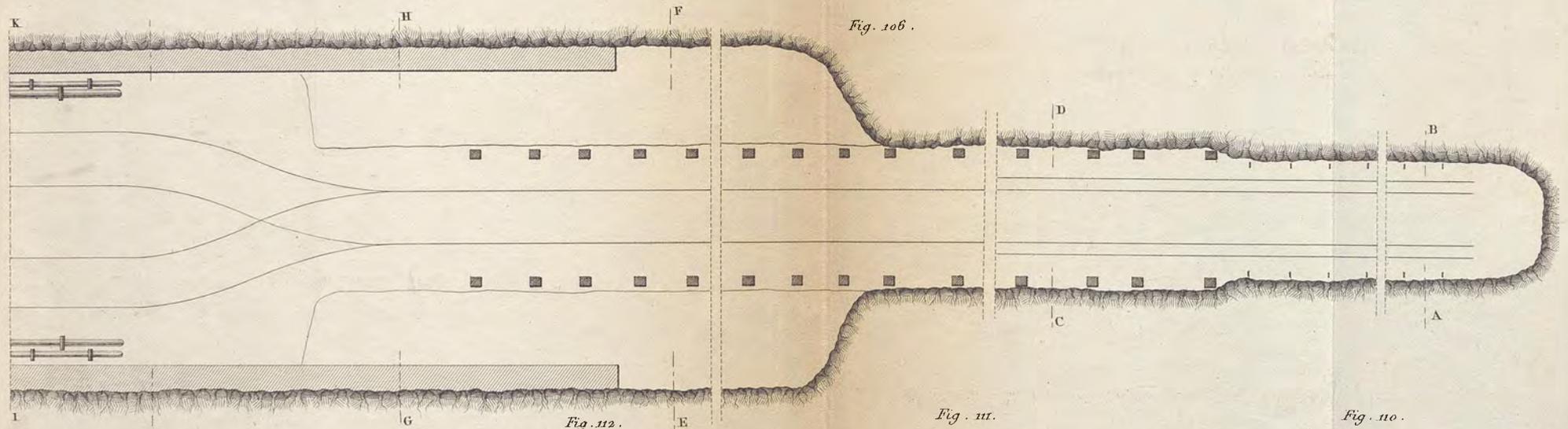


Fig. 106.

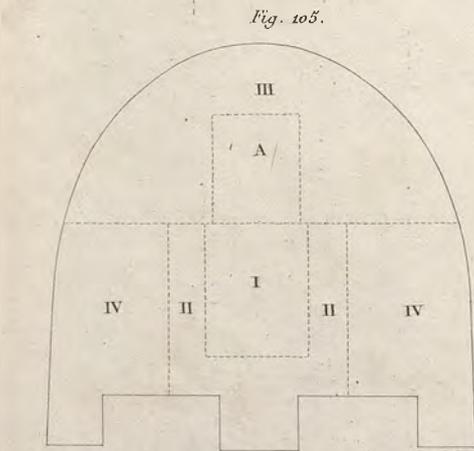


Fig. 105.

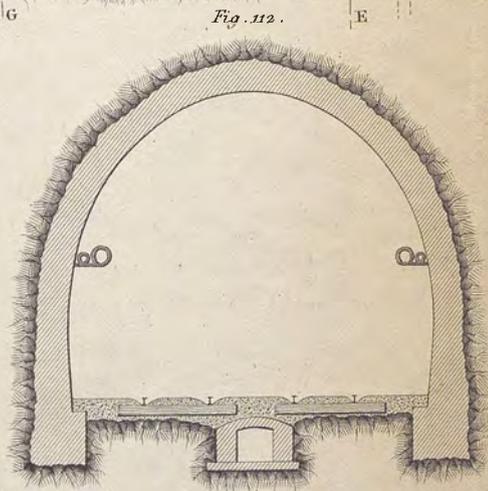


Fig. 112.

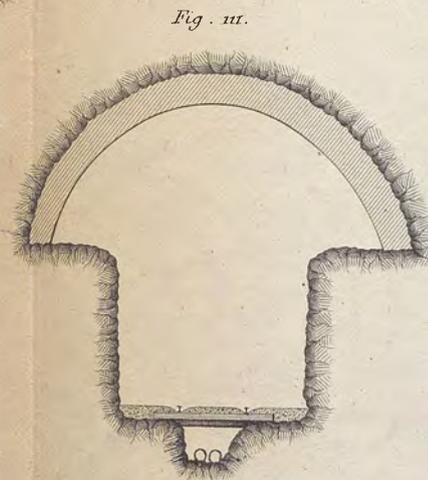


Fig. 111.

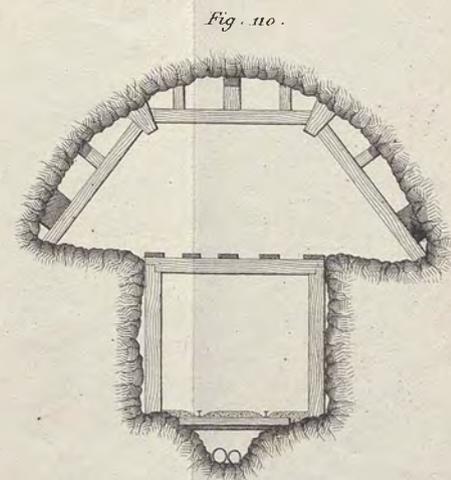


Fig. 110.

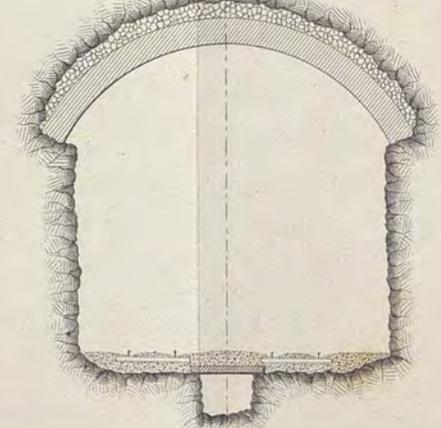
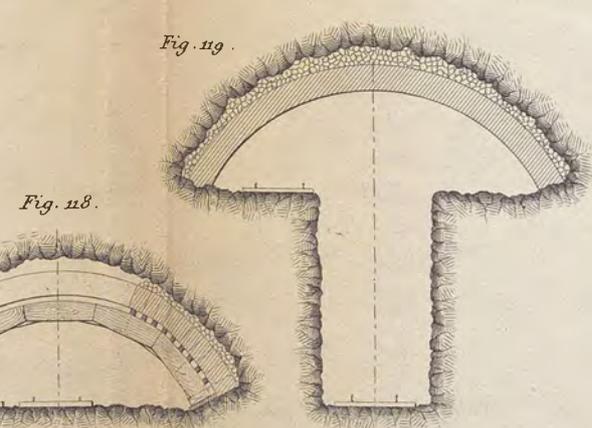
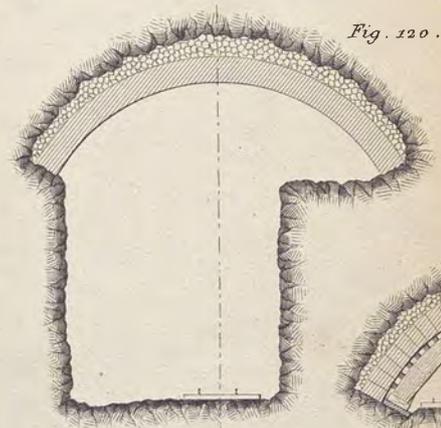
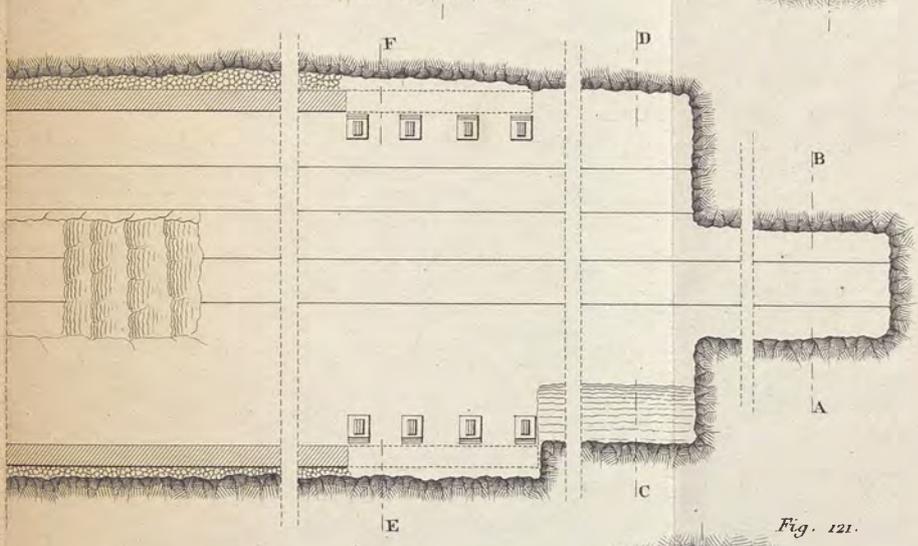
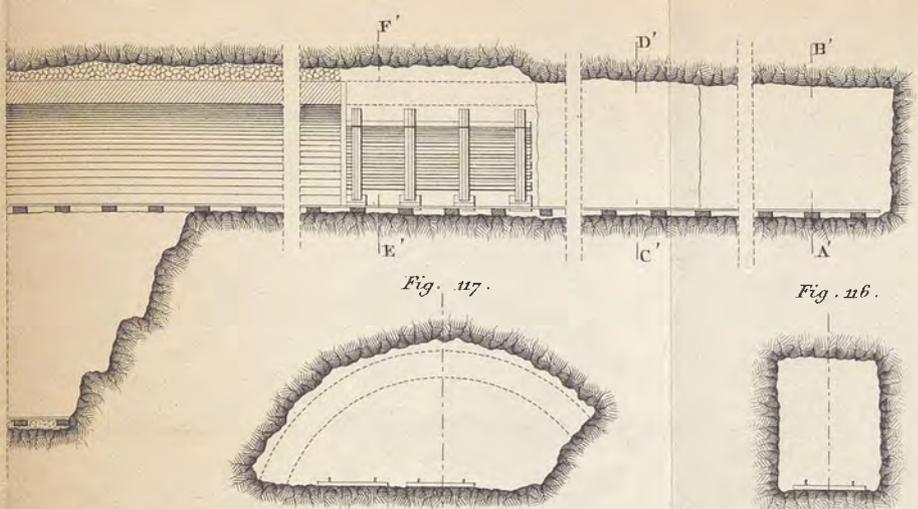
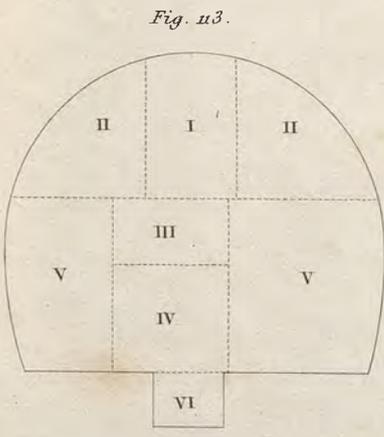
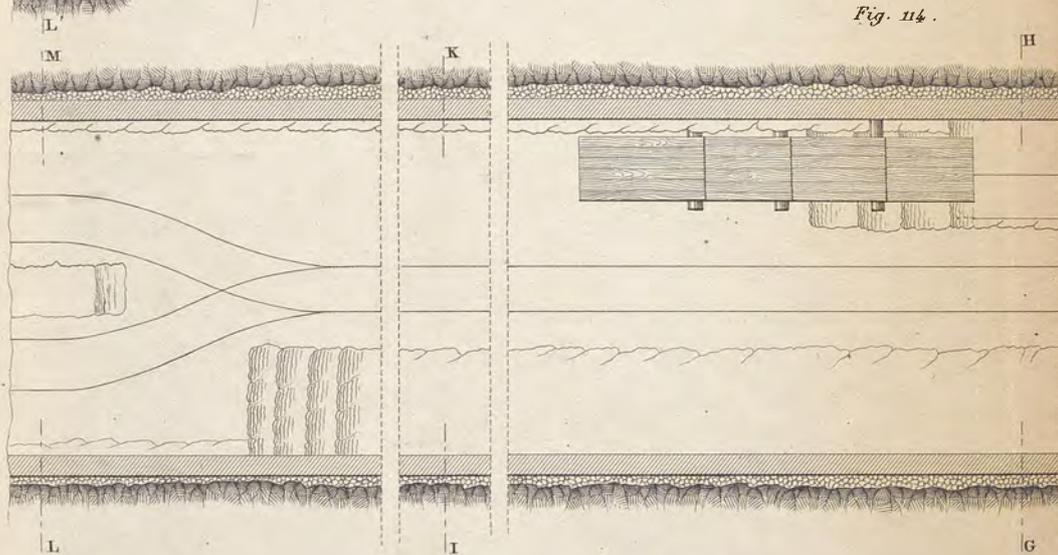
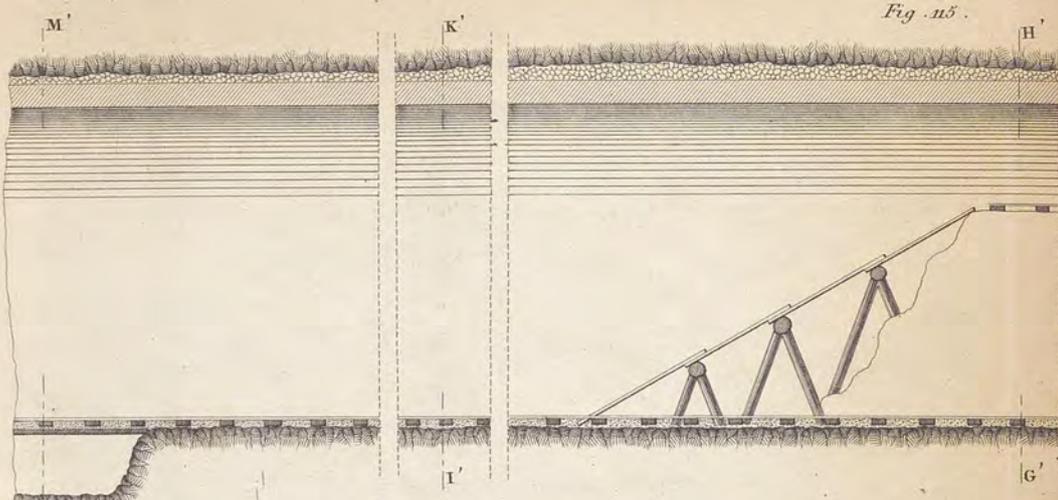


Fig. 122.

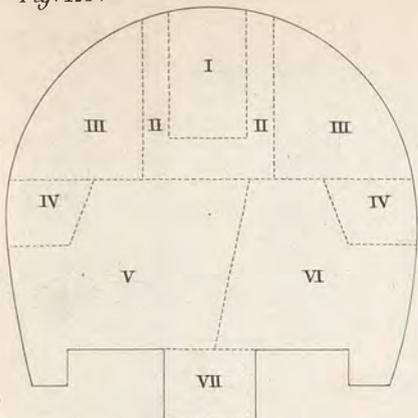


Fig. 124.

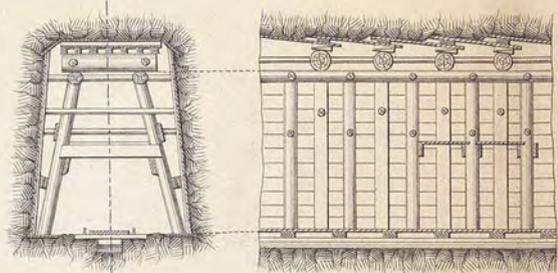


Fig. 125.

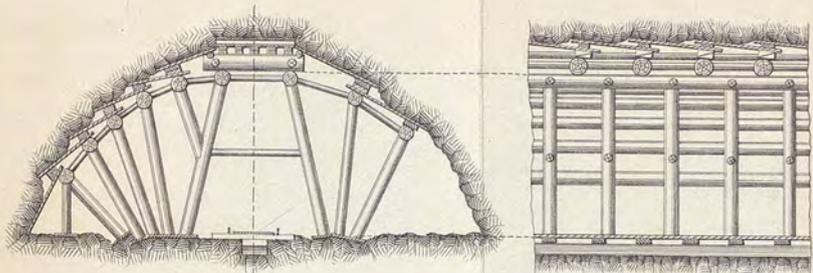


Fig. 123.

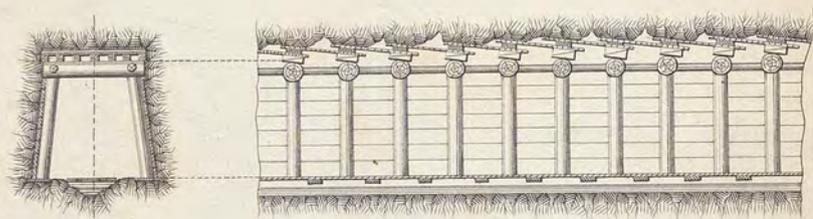


Fig. 126.

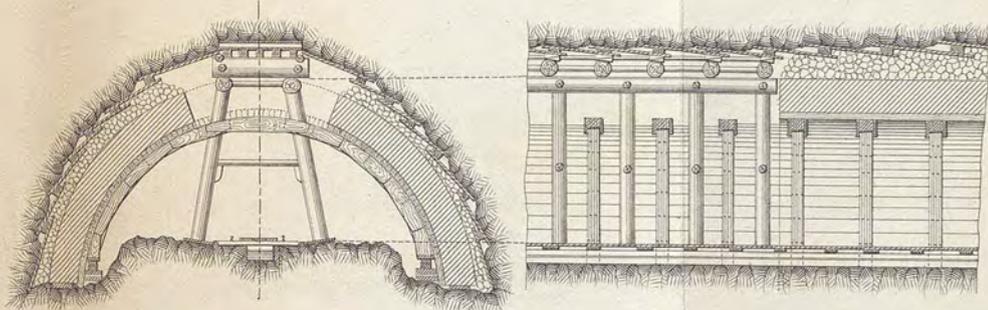


Fig. 127.

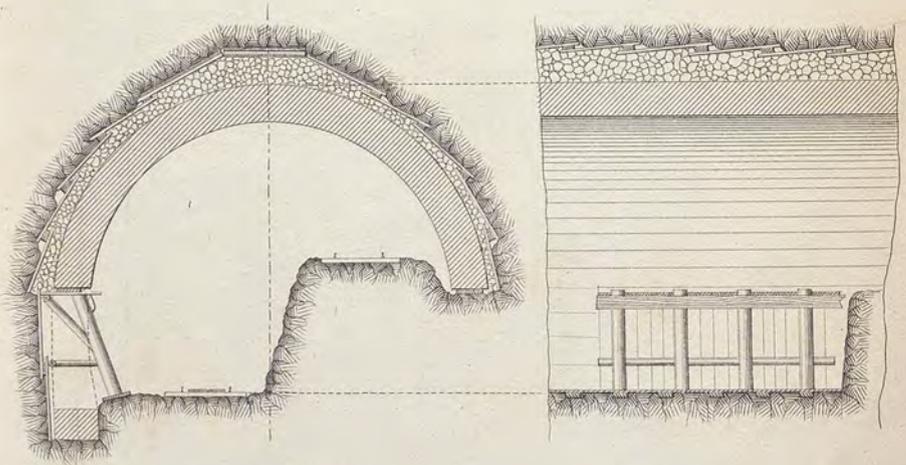


Fig. 128.

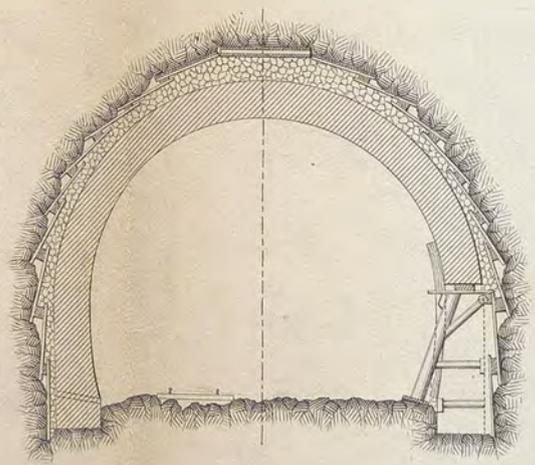


Fig. 129.

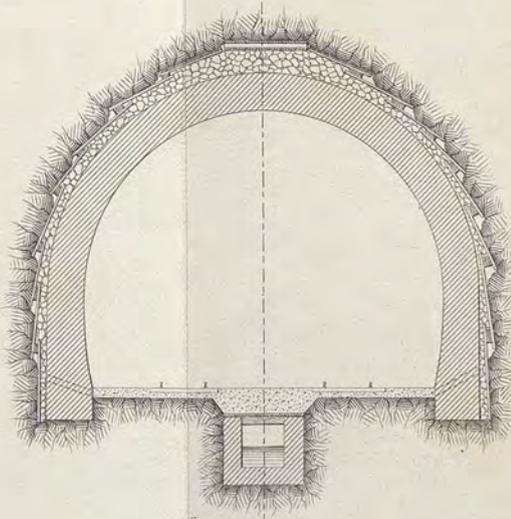


Fig. 130.

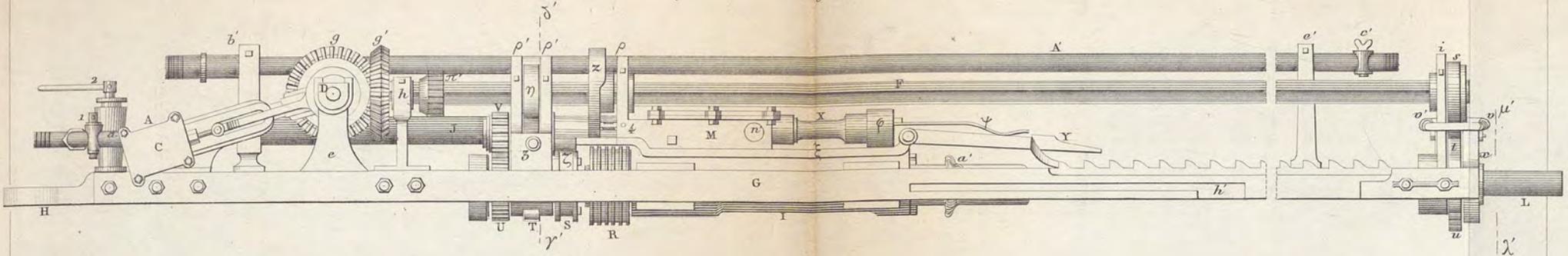


Fig. 131.

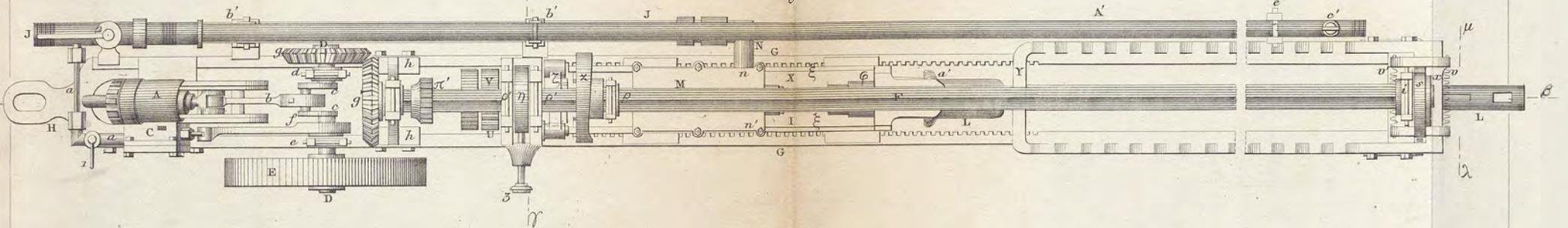


Fig. 132.

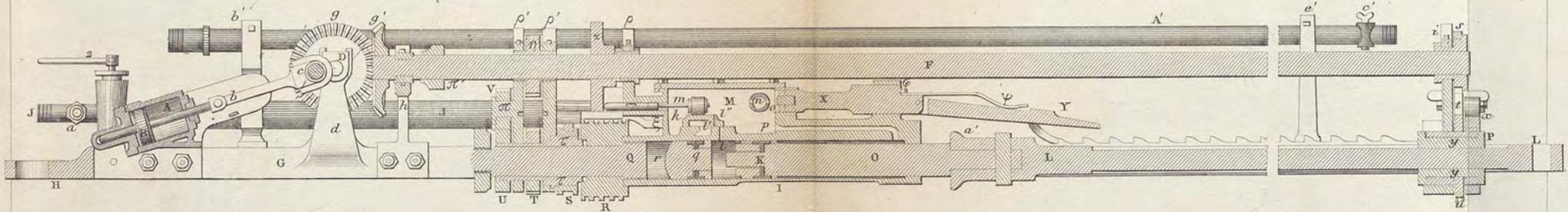


Fig. 139.

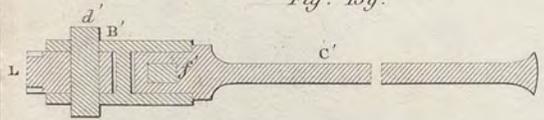


Fig. 135.

Fig. 136.

Fig. 137.

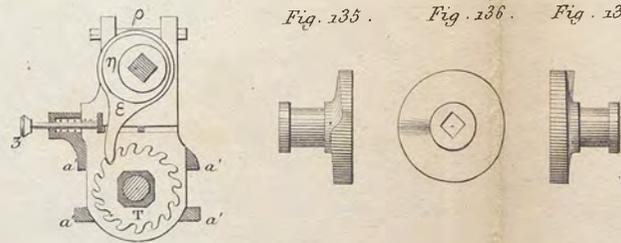


Fig. 133.

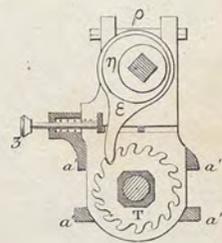


Fig. 138.

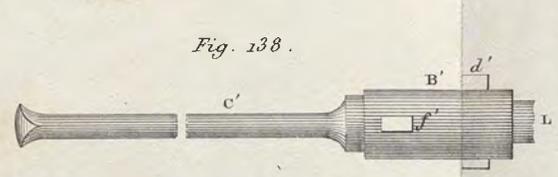


Fig. 134.

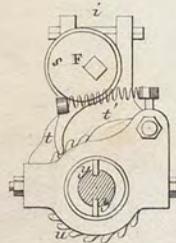


Fig. 140.

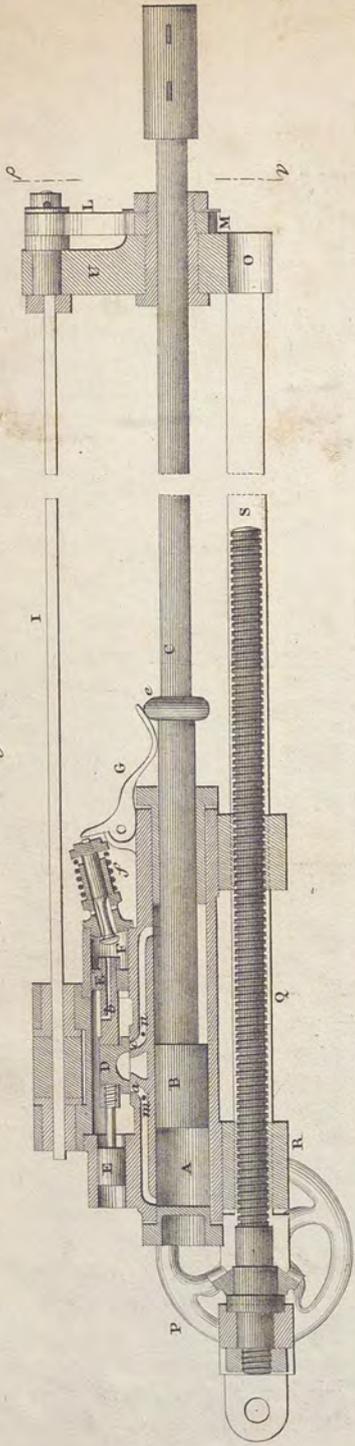


Fig. 143.

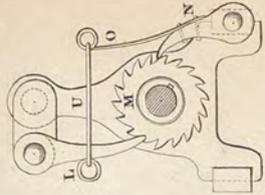


Fig. 142.

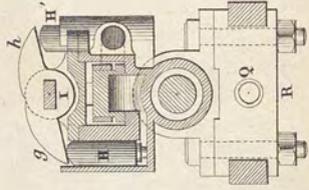


Fig. 141.

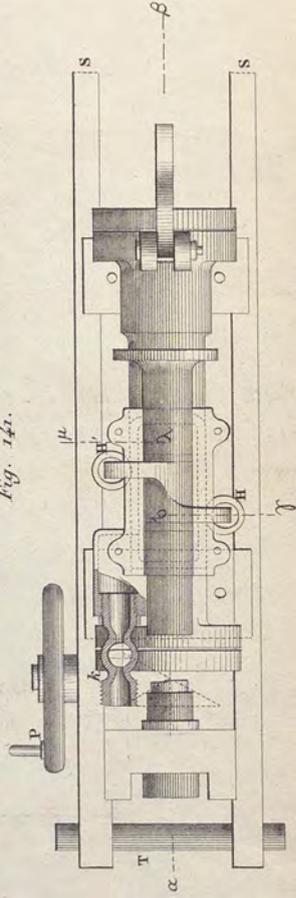


Fig. 146.

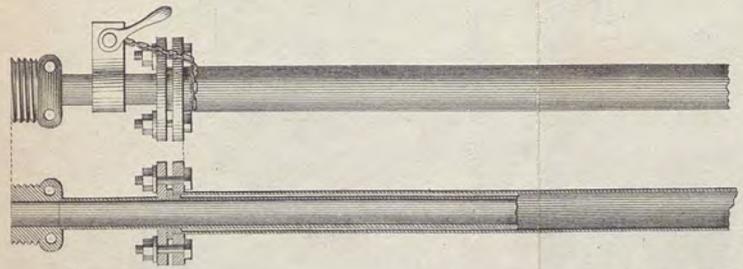


Fig. 144.

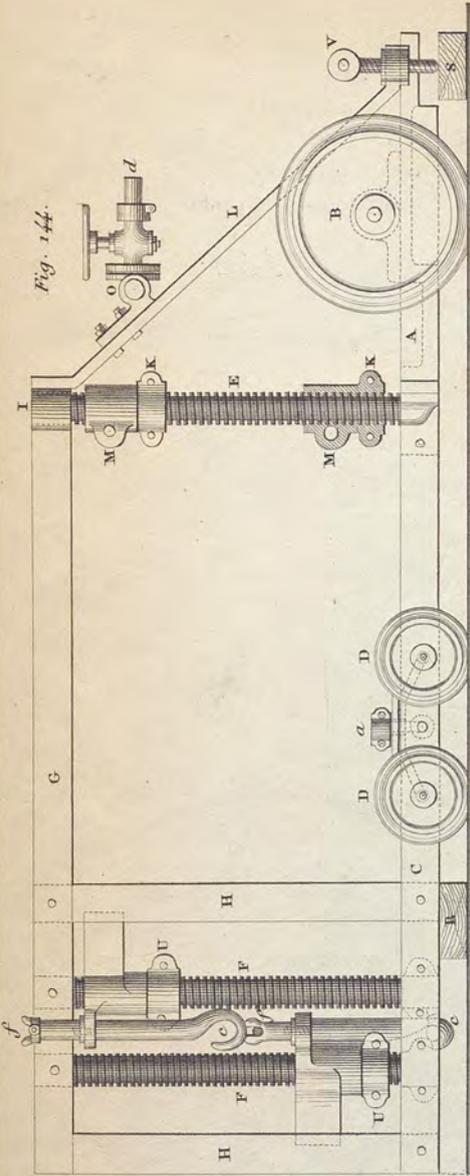
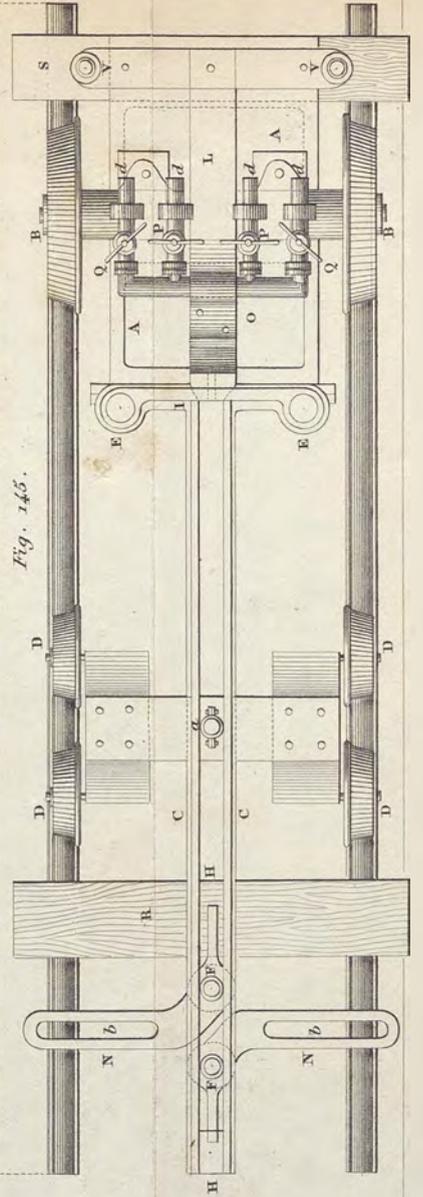


Fig. 145.



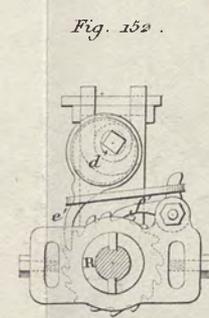
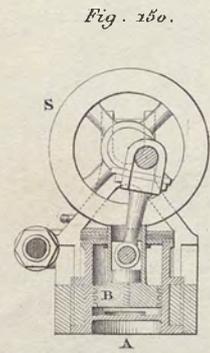
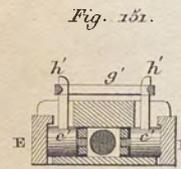
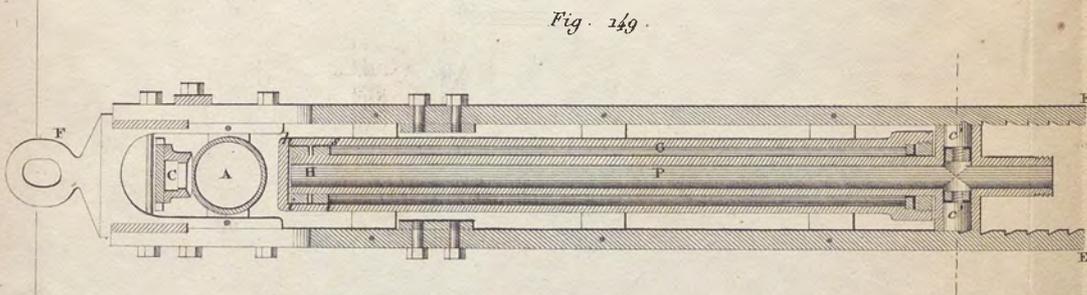
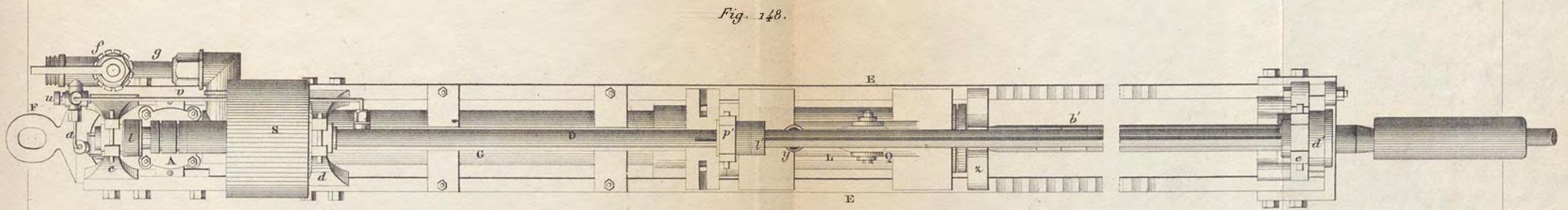
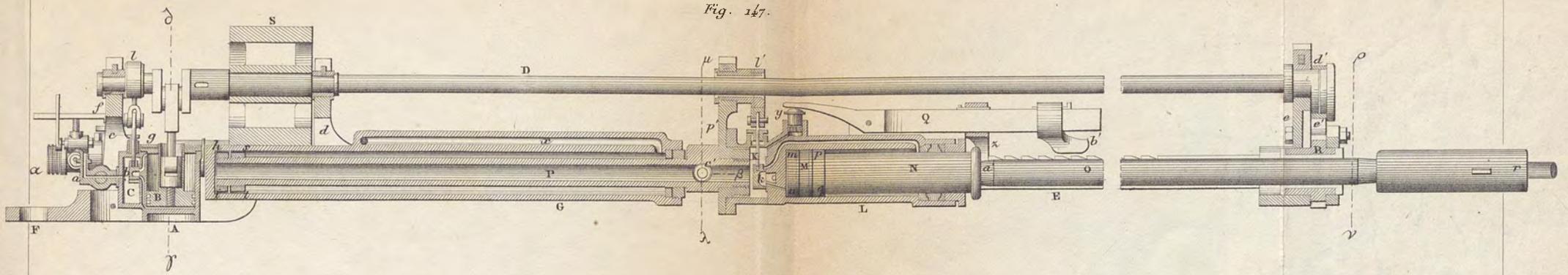


Fig. 153.

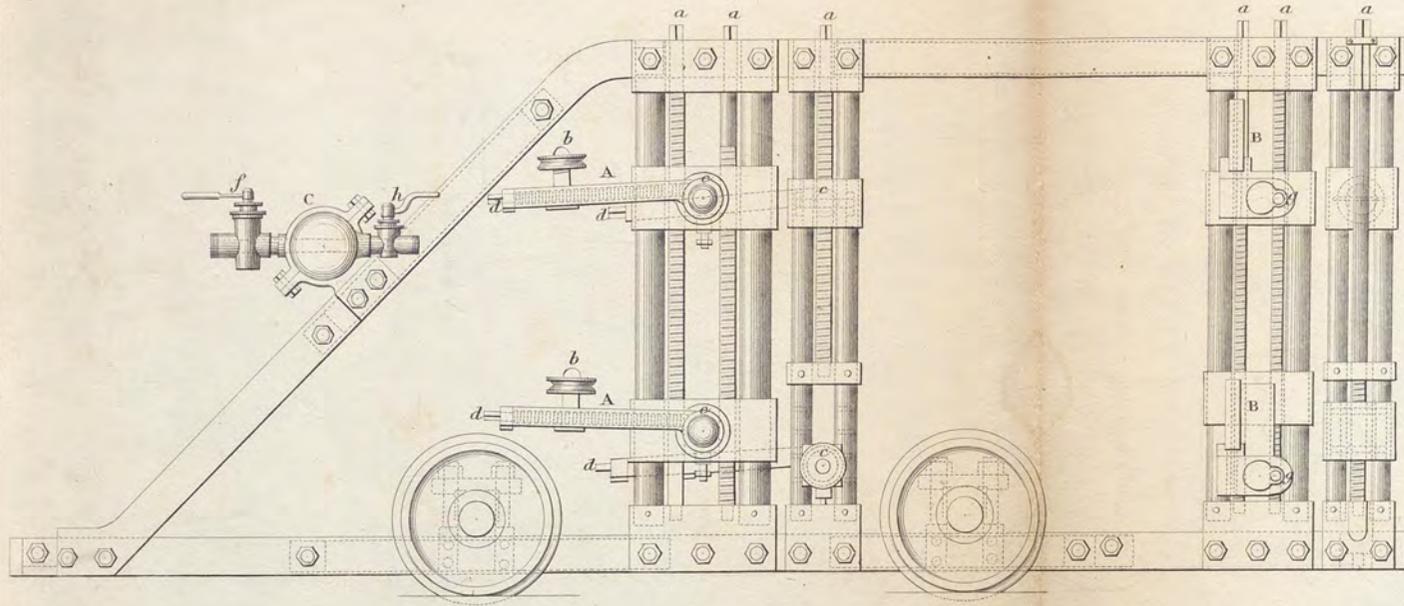


Fig. 155.

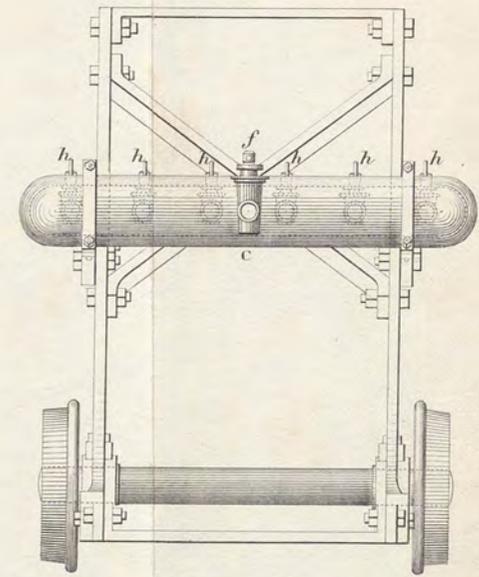


Fig. 154.

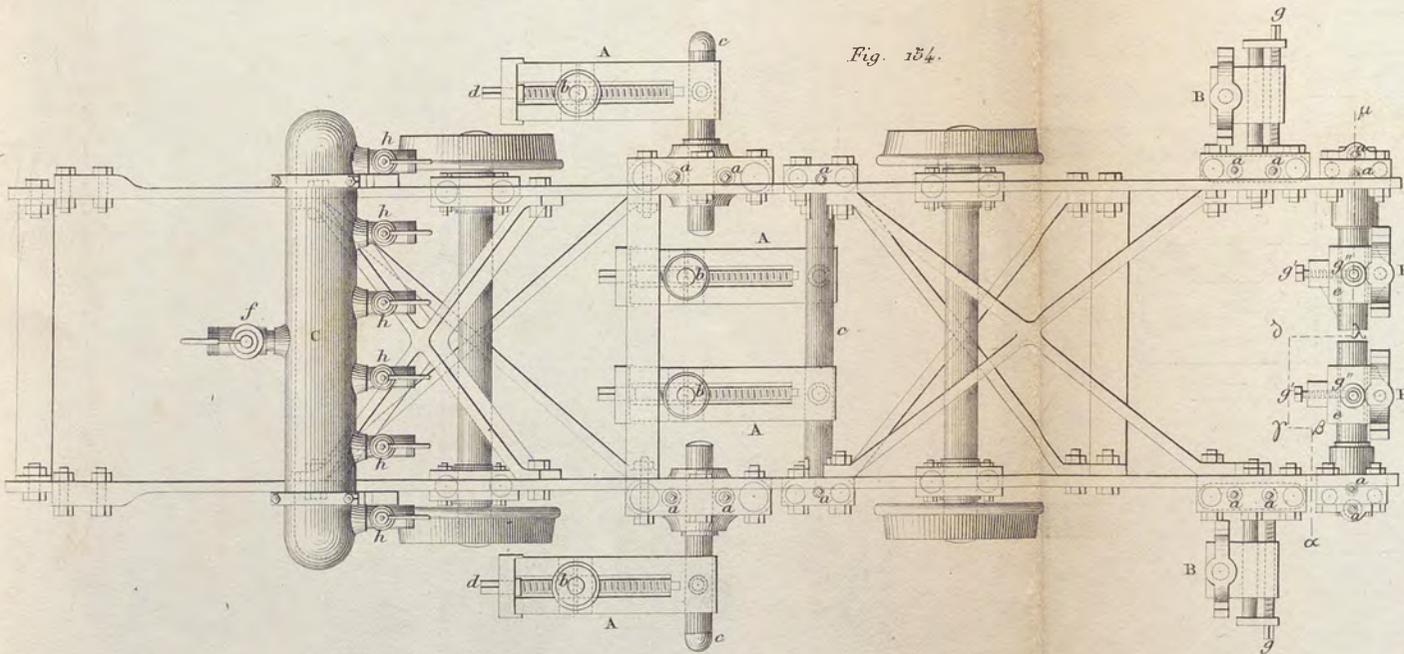


Fig. 156.

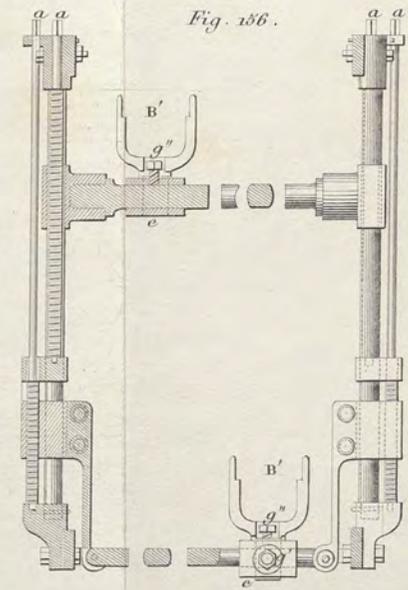


Fig. 158.

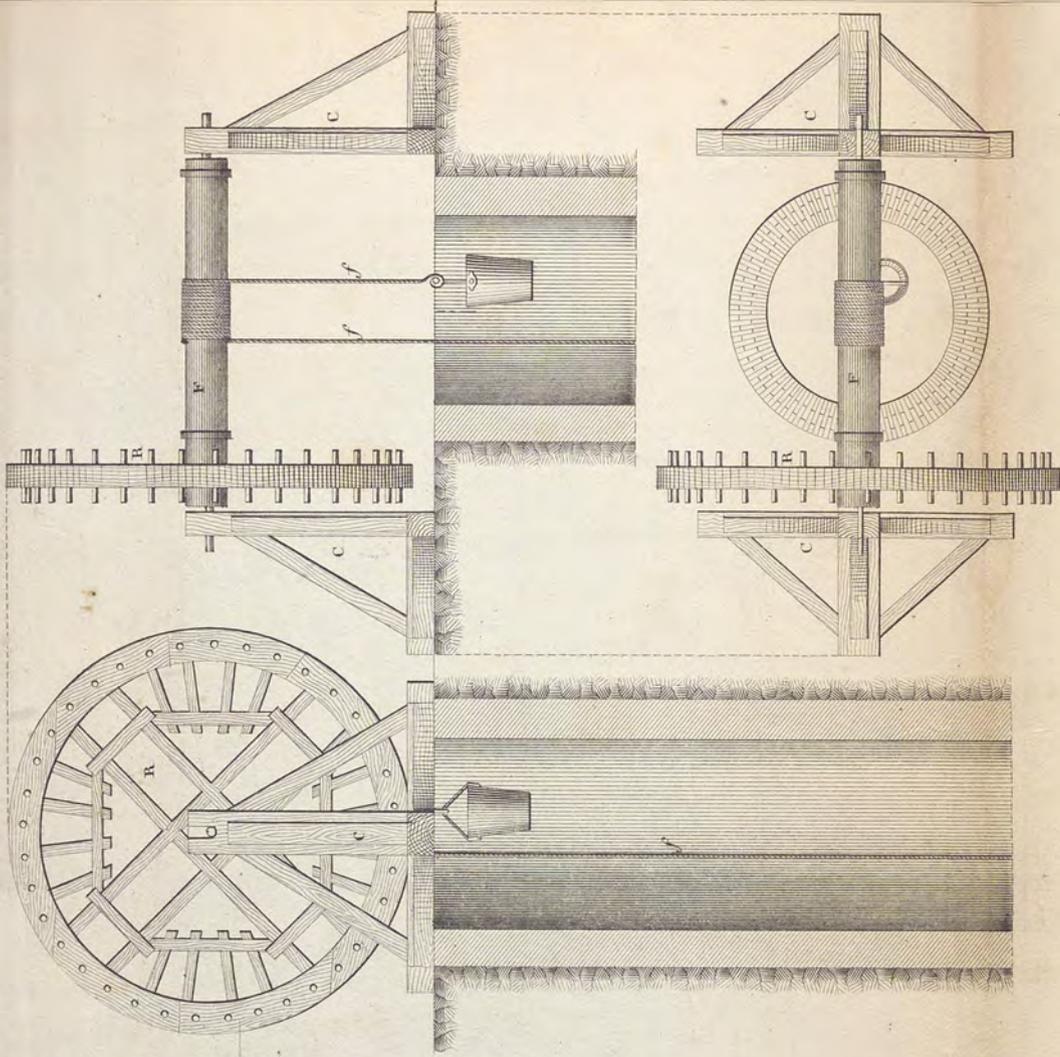


Fig. 157.

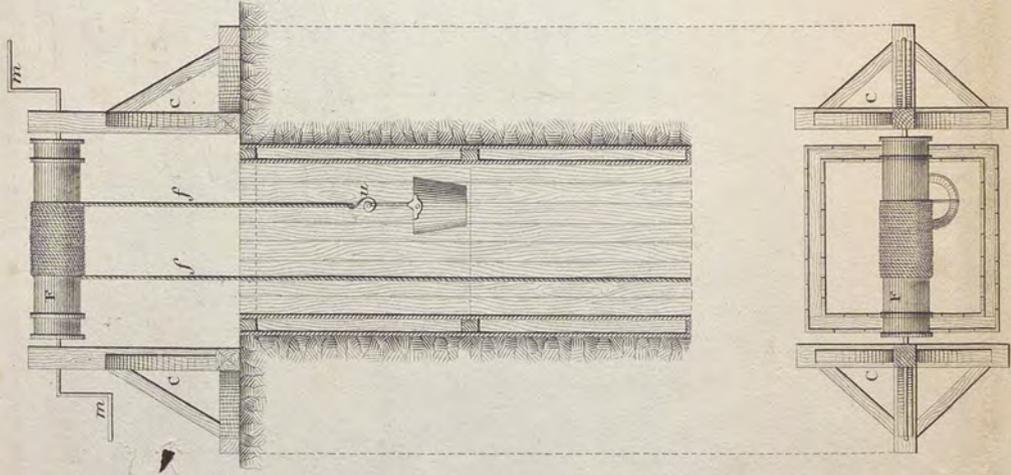
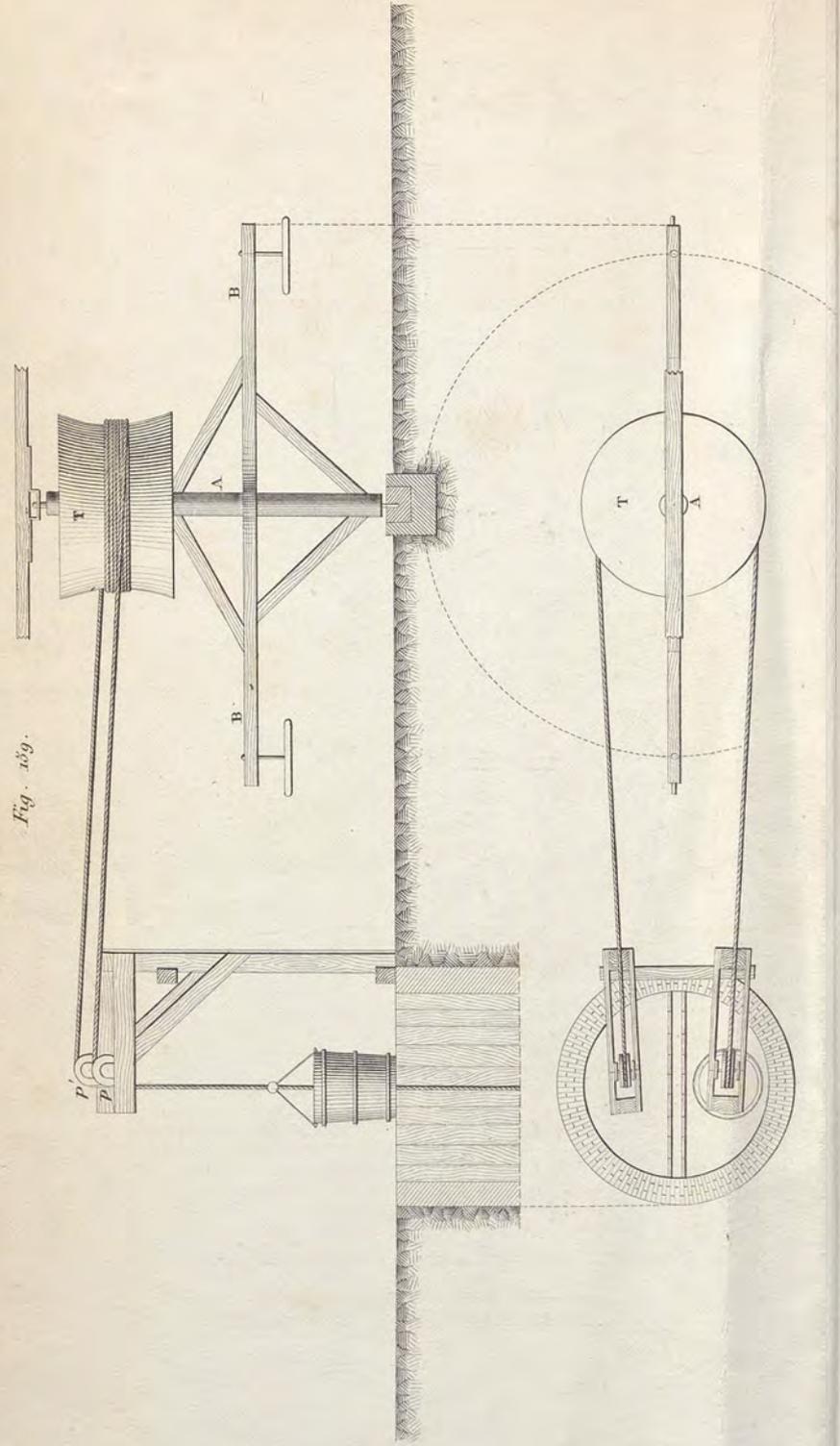


Fig. 159.



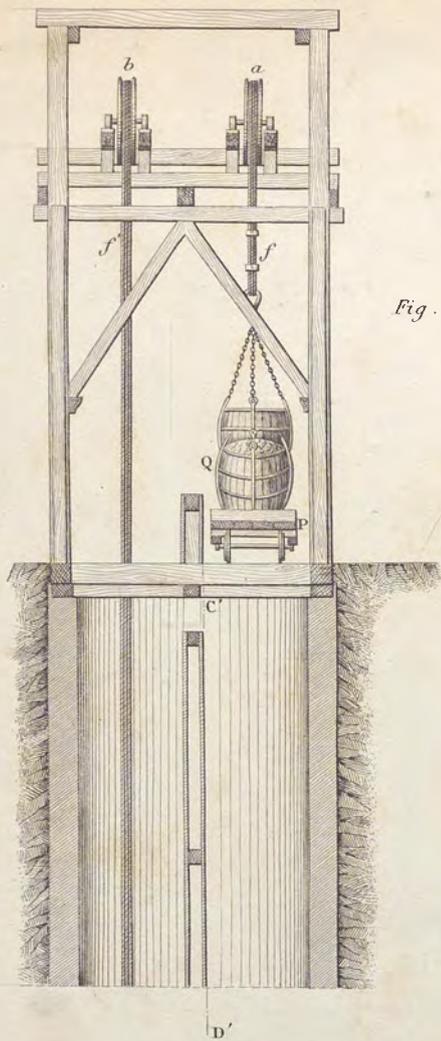


Fig. 166.

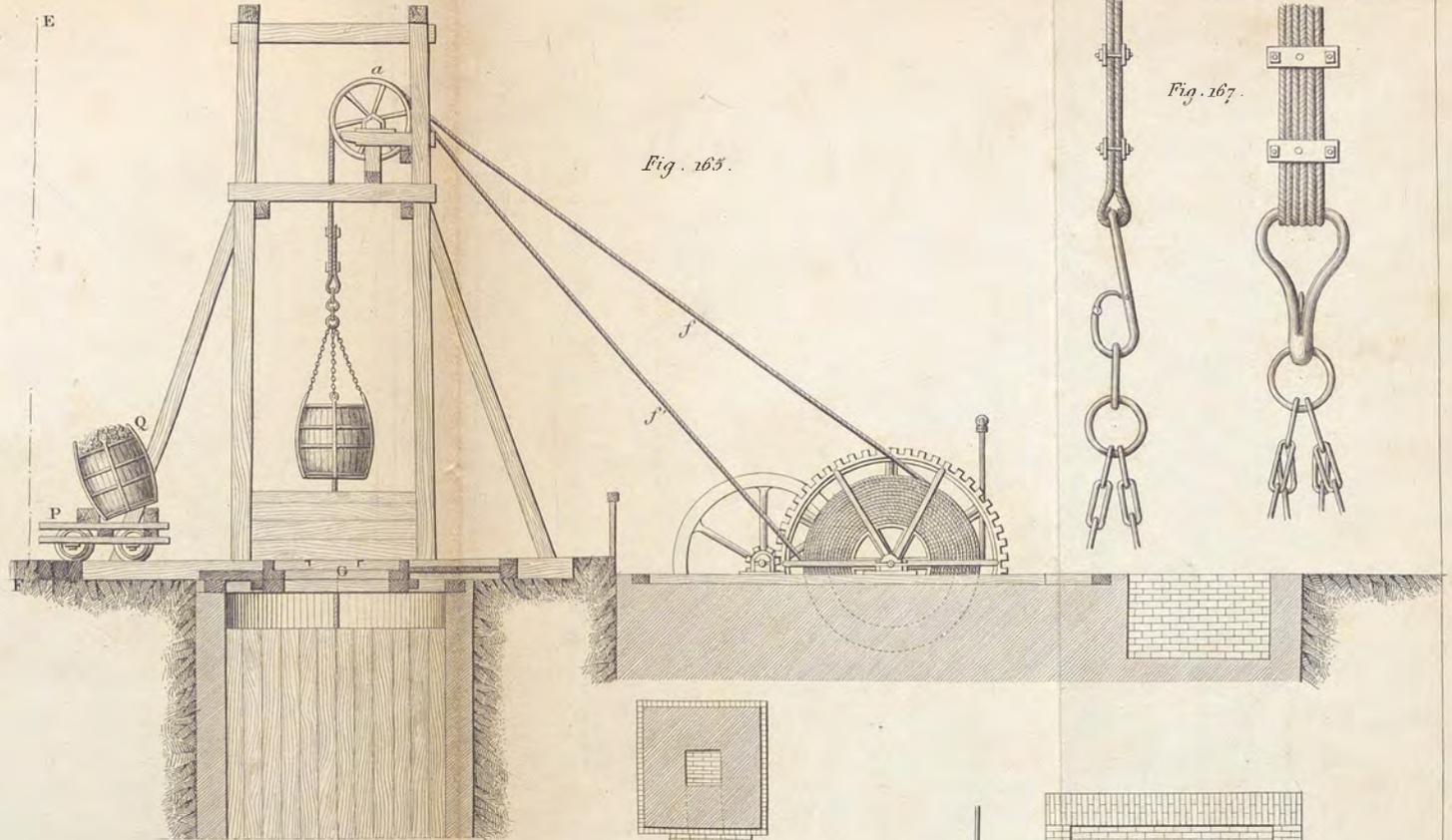


Fig. 165.

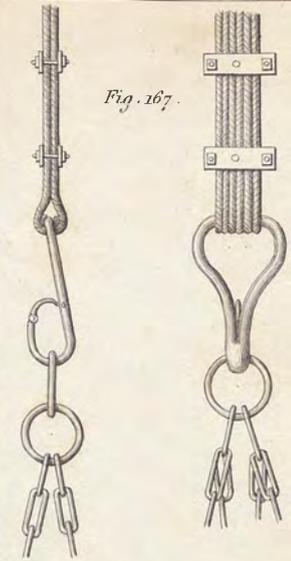


Fig. 167.

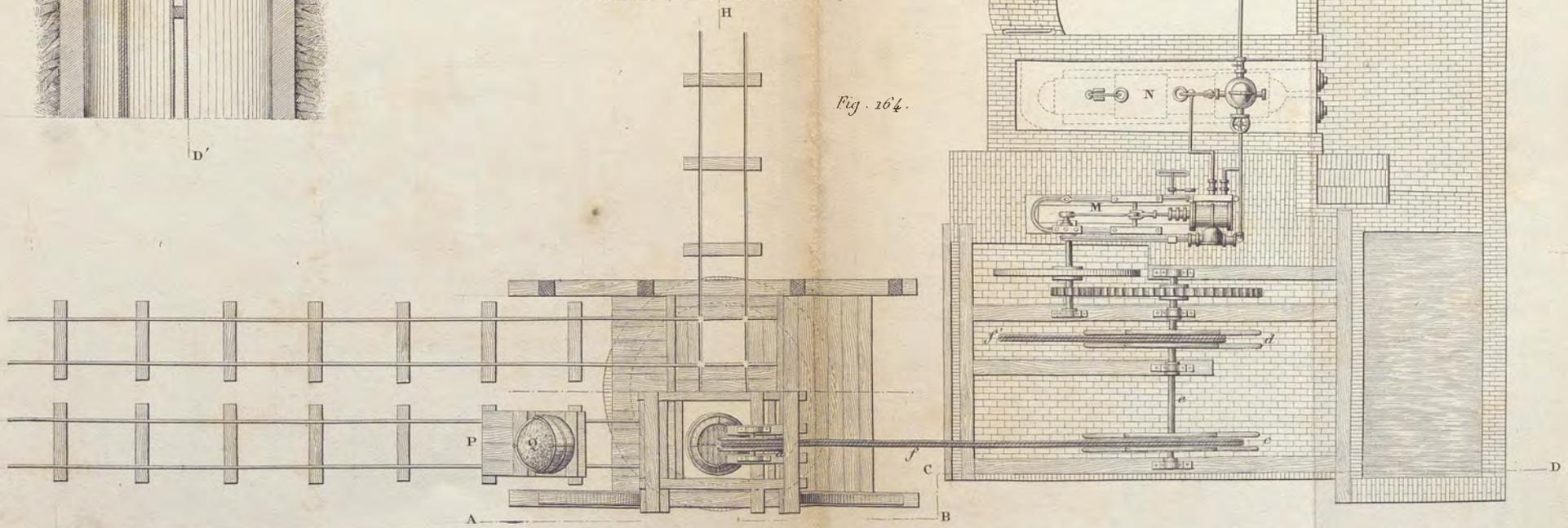


Fig. 164.

