

G 102

DETERMINAZIONE GRAFICA

DELLA

SPINTA DELLE TERRE

APPLICAZIONE AD UN MURO DI SOSTEGNO PER VIA FERRATA

DISSERTAZIONE

PRESENTATA

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DELLA

SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GL'INGEGNERI IN TORINO

DA

GIUSEPPE PASSERINI

DA NOVARA

per ottenere il Diploma di Laurea di Ingegnere Civile

TORINO

STAMPERIA REALE DI G. B. PARAVIA E C.

1873.

AI MIEI GENITORI

IN SEGNO DI RICONOSCENZA E D'AFFETTO

Uno dei problemi più importanti, che soventi deve risolvere l'ingegnere costruttore, è certamente quello della determinazione della spinta delle terre contro le pareti piane di ritegni destinati od impedirne gli scoscendimenti. La maggior parte dei costruttori, fra cui ci basti citare Coulomb (1), Pronis (2), Français (3), Saint-Guilhem (4), Curie (5), si occuparono molto seriamente di questa questione proponendo diversi procedimenti per giungere alla risoluzione della medesima; ma o trattarono la questione solo in casi particolari, e diedero metodi insufficienti per le attuali esigenze delle costruzioni, oppure diedero metodi, che se soddisfano, considerati dal lato teorico, dal lato pratico lasciano molto a desiderare per la difficoltà di applicazione, per la lunghezza dei calcoli e specialmente per non servirsi dei dati di cui generalmente si può disporre in pratica. Il professore Gio. Curioni che già sino dal 1867 (6) pre-

(1) *Mémoires des Savants étrangers*, 1773.

(2) *Recherches sur la poussée des terres*, etc., 1802.

(3) *Mémorial de l'officier du Génie*, 1820.

(4) *Annales des ponts et chaussées*, 1858.

(5) *Nouvelle théorie de la poussée des terres*, etc., 1870.

(6) *Memorie della Reale Accademia di Scienze di Torino*, Serie II^a, tom. XXV.

sentava alla Reale Accademia delle Scienze di Torino un procedimento analitico, che oltre all'abbracciare tutti i casi in cui può avvenire di dover realmente determinare la spinta delle terre, presentava una grande semplicità nei calcoli, e perciò una facile applicazione nella pratica, nel suo corso di lezioni di quest'anno proponeva un metodo grafico d'una estrema semplicità, e che dà risultati soddisfacentissimi nelle sue applicazioni pratiche. Ci proporremo ora per quanto ci sarà possibile di dare un'idea generale di questo metodo, e di applicarlo al caso particolare d'un muro di sostegno per una via ferrata, premettendo alcune considerazioni generali indispensabili per l'intelligenza del procedimento.

I.

Avendo un masso di terra appoggiato da una parte al terrapieno da cui tende a staccarsi, e dall'altra alla parete di un ritegno, le resistenze che si oppongono allo scoscendimento sono: quella dovuta all'attrito di terra contro terra, che si sviluppa nella faccia anteriore di detto masso; quella dovuta all'attrito della terra contro il ritegno che si sviluppa sulla faccia con cui il masso si appoggia al ritegno e quella dovuta alla coesione, che ha luogo fra le molecole della terra nella faccia secondo cui il masso tende a staccarsi dal terrapieno, e finalmente quella prodotta dall'adesione, che si sviluppa tra le molecole della terra e la parete del ritegno a cui sono a contatto. Generalmente in pratica si ammette che queste resistenze non si sviluppino contemporaneamente; ma che si faccia sentire la resistenza di attrito quando abbiano cessato d'agire la coesione e l'adesione, e negli studi dell'equilibrio delle terre si tiene solo conto della resistenza d'attrito, anzichè di quelle dovute alla coesione ed all'adesione, giacchè col tempo e per molte cause sono queste soggette a venir meno.

Trascurando adunque la coesione e l'adesione, affinchè le terre si mantengano in equilibrio, è necessario che le faccie dei terrapieni siano tagliate secondo il natural declivio. Sia ACD (fig. 1) il profilo superiore d'un terrapieno, e si voglia sostenerlo con un ritegno AB , se AB fosse disposta secondo il natural declivio, non farebbe nessuno

sforzo, ma se non è, allora fa l'ufficio di sostenere le terre, quindi reagisce contro le terre che vogliono cadere, e viceversa le terre agiscono contro essa per moverla. La prima operazione è di conoscere quale sia il masso di terra che agisce contro la parete, da B si conduce una retta BD secondo il natural declivio, le terre che tendono ad allontanare AB sono quelle sopra BD : ma si vede che siccome BD è il piano che corrisponde all'equilibrio delle terre, la superficie secondo cui tendono a scoscendere le terre non è la superficie piana BD . Tutti gli autori che hanno studiato l'importante argomento della determinazione della spinta delle terre sono stati d'accordo nell'ammettere, che sia piana la faccia secondo cui il masso spingente ha tendenza a separarsi dal terrapieno; quantunque pare più verisimile, e maggiormente conforme a quanto si manifesta nella osservazione di terrapieni scosci, l'ammettere che la superficie di separazione del masso spingente dal sottostante terrapieno sia una superficie cilindrica; che questa superficie abbia le generatrici orizzontali, e che la sua direttrice sia una linea la quale incominci in alto, p. es. in M , con una breve retta M, N , verticale o poco distante dalla verticale, ed a cui si raccorda una curva convessa verso l'interno del terrapieno colla sua tangente nel punto più basso B inclinata all'orizzonte di un angolo ben poco diverso da quello che corrisponde al natural declivio delle terre. Ne segue che coll'ipotesi generalmente ammessa nella determinazione della spinta delle terre non si ottengono che risultati d'approssimazione; questi risultati però sia per essere poco lontani dal vero; sia per condurre alla determinazione di una spinta sempre un po' maggiore di quella che realmente ha luogo, si possono ammettere senza tema d'inconvenienti per rapporto alla stabilità dei ritegni, la quale sarà sempre in eccesso anzichè in difetto, qualora si regolino le loro dimensioni in modo che essi possano resistere alla spinta teoricamente dedotta partendo dalle accennate ipotesi. Ammetteremo dunque che la superficie di distacco sia piana, che passa per B , e rappresentata in una retta, p. es. in BE , compresa fra BA , e BD . I piani passanti per B e compresi fra BA e BD sono in numero

infinito, ma uno ve ne sarà a cui corrisponde l'azione massima delle terre contro la parete spinta, e questo è quello che più importa di determinare. Questo piano si dirà *piano di distacco*, ed il prisma MAB (supposto MB il piano di distacco) verrà detto *prisma di massima spinta*.

È evidente, che se consideriamo il cuneo ABE (fig. 2) nell'istante in cui è in procinto di discendere in tutti i punti di BE , eserciterà delle pressioni normali alla faccia stessa che daranno luogo ad una risultante N , che supporremo applicata in E , che farà nascere una certa resistenza di attrito, che potremo indicare con fN ; analogamente il prisma ABE eserciterà delle pressioni su AB e tutte quelle pressioni ammetteranno una risultante N' normale ad AB che svilupperà l'attrito $f'N'$. Le forze N ed fN ammetteranno una risultante S così N' ed $f'N'$ ammetteranno R per risultante. Potremo dire che quel cuneo ABE esercita su BE l'azione S ed R su BA .

Ora le forze che agiscono non sono che il peso proprio del cuneo ed il sovraccarico, il complesso di questi pesi si indichi con P . Le R ed S si incontrano in G , e supponendo in G applicato il peso P , le sue due componenti devono essere uguali ad R ed S , e ciò nello stato d'equilibrio prossimo a scoscendimento, come risulta dalla meccanica per un corpo appoggiato a due piani. Per B conduciamo una orizzontale BO , sia γ l'angolo della parete spinta AB con BO , diciamo φ l'angolo di attrito di terra contro terra lungo BE , φ' quello della terra contro la superficie della parete spinta, avremo:

$$f = \text{tang. } \varphi$$

$$f' = \text{tang. } \varphi'$$

l'angolo PGR diciamolo α e PGS , β prolunghiamo GP fino in Q , tiriamo la normale GK su AB , si ha il quadrilatero $BQ GK$ con due angoli retti, quindi:

$$\gamma + KGP = 180^\circ .$$

L'angolo di attrito φ' contro AB è $N'HR$, poichè la meccanica insegna che l'angolo d'attrito non è che l'angolo che la risultante della pressione e dell'attrito fa colla pressione: ora $N'HR = KGH$, quindi

$$\begin{aligned} \gamma + \psi' + \alpha &= 180^\circ \\ \alpha &= 180^\circ - \gamma - \psi' \dots \dots (I) \end{aligned}$$

che determina il valore di α .

Ora diciamo ψ l'angolo di BE coll'orizzonte per G , abbassiamo la normale GL sopra BE l'angolo $QGL = LBO = \psi$ quindi

$$\begin{aligned} \psi - \beta + \varphi \\ \beta &= \psi - \varphi \dots \dots (II) \end{aligned}$$

α è sempre costante mentre β varia col variare di ψ e quindi del piano di distacco.

Non ci occuperemo di S ma solo di R perchè il terrapieno sottostante è quello che si oppone ad S , per determinare R consideriamo una lunghezza di terrapieno eguale l'unità, la faccia superiore generalmente sarà una superficie curva qualunque, nella pratica tutto al più si può sostituire con una superficie poliedrica, e si può ritenere con sufficiente approssimazione il profilo curvo AD (fig. 3) sostituito da tante linee rette: intenderemo che quei rettangoli superiori indichino il sovraccarico. Si uniscono tutti i vertici e le linee estreme dei sovraccarichi con B , si hanno così tanti triangoli ed il masso di terra è scomposto in tanti prismi triangolari di pesi t_1, t_2, t_3 pesi, che sarà facile fare, poichè i prismi essendo lunghi l'unità basterà per avere il volume calcolare l'area del triangolo base. Così conosciamo il sovraccarico CI e sarà facile conoscerlo per l'unità di superficie, e sia s_1 , così per EF sia s_2 e per l'altro s_3 , e così di seguito. Ora seguiamo un punto V (fig. 4), per esso conduciamo la verticale VU e con essa costruiamo α dato dalla (I) avremo $V\rho$, assumeremo una certa scala per rappresentare le forze, poi supporremo che il piano di distacco sia BC , allora il peso P sarà t_1 , e sulla verticale porteremo Vp_1 rappresentante t_1 ; poi faremo β dato dalla (II) ponendo per ψ il CBO e tratteremo la

$V\sigma_1$, che faccia colla VU questo angolo β , da p_1 tireremo la parallela a $V\sigma_1$, così si ha la Vr_1 , che si porta sulla scala delle forze e ci rappresenta la spinta, supponendo che il piano di distacco sia la BC . Ora supponendo che il piano di distacco sia BI , il peso P sarà t_1 più t_2 più il sovraccarico, e questa somma si porta da V in p_2 , poi si calcola β , ponendo $\psi = TBO$, ed avremo $V\sigma_2$, quindi Vr_2 rappresentante la spinta; e così di seguito si va ripetendo la stessa operazione sempre facendo variare il piano di distacco. Dopo un certo numero di costruzioni uno dei punti r invece di andare sempre più lontano da V cadrà più vicino, il che vorrà dire che si ha una spinta minore, ed allora si dice che si ha oltrepassata la massima spinta. Ma si hanno però due limiti fra cui è compreso il piano di distacco corrispondente. Supponiamo che siano BL e BF , allora si immagini un piano BT compreso fra quei due, e si fa il valore di r corrispondente a quel piano, si restringono così i limiti fra cui deve essere compreso il piano di distacco. Si procede così un poco per tentativi e facilmente si cade sul vero quando si ottengono due punti come r che coincidono o quasi. Potrà darsi che la spinta vada crescendo poi diminuisca per poi crescere ancora e così di seguito in modo d'avere diversi massimi, allora bisogna continuare l'operazione fino al piano del natural declivio.

Cerchiamo ora le componenti orizzontale e verticale di questa spinta del terrapieno: (fig. 5) sia una orizzontale BO ; BA la parete spinta, si prende un punto C per cui si conduce la normale CN ; sappiamo che la spinta R fa colla normale l'angolo di attrito, avremo facilmente la direzione di R di cui già conosciamo l'intensità, e così potremo facilmente ottenere la componente orizzontale Q e la verticale V . Troviamo ora il punto d'applicazione della spinta alla parete: per A (fig. 6) conduciamo la verticale OAy e per B la OBx , e quelle si assumono come assi di coordinate, da B si conducono delle rette alle estremità delle liste sovraccaricate ed ai vertici del profilo; avremo tanti triangoli di cui cerchiamo i centri di superficie e siano g_1, g_2, g_3, \dots ; riguardo al peso dei sovraccarichi si può supporre che agisca nel mezzo delle liste in H, H_2, \dots ; da

tutti i punti come g ed H si abbassano delle normali agli assi, si avranno così le loro ascisse e le loro ordinate. Si indichi con t il peso d'uno qualunque di quei prismi triangolari in cui si è diviso il masso, siano x ed y le coordinate del centro del triangolo corrispondente, sia s uno qualunque dei sovraccarichi x' ed y' le coordinate del suo punto d'applicazione; siano poi x_1 ed y_1 le coordinate del centro di gravità di tutto il masso compreso il suo sovraccarico, avremo:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{\Sigma t x + \Sigma s x'}{\Sigma t + \Sigma s} \\ y_1 &= \frac{\Sigma t y + \Sigma s y'}{\Sigma t + \Sigma s} \end{aligned} \right\} (a).$$

Portando a posto queste ascisse ed ordinate si ha il punto G ; ora si può ritenere che considerando una particella m di terrapieno di peso p essa tenda a scorrere in basso parallelamente al piano di distacco, e scomponendo p in due, di cui una normale e l'altra parallela a BC , sia la parallela a BC quella che tende a fare scorrere in giù quella particella. Ora si sa che il centro di forze parallele non cangia col variare della comune direzione delle forze e delle loro intensità relative, cosicchè se si considerasse non i pesi ma le parallele a BC si trova per loro centro lo stesso punto G , quindi la risultante delle parallele a BC deve passare per G ed essere parallela a BC conducendo quindi $G\rho$ parallela a BC questa sarà la direzione di quella risultante; dove $G\rho$ incontra BA , cioè H sarà il punto di applicazione della spinta contro AB ; quindi in pratica questo punto si determina facilmente.

Ora noi ci siamo messi in grado di avere il valore della spinta massima R_m non che quelli delle sue componenti Q_m e V_m considerando una porzione di terrapieno lunga orizzontalmente l'unità, torna però agevole di ottenere i corrispondenti valori R'_m , Q'_m e V'_m della spinta massima e delle sue componenti quando il terrapieno ha la lunghezza l , quando per tutta questa lunghezza si conserva costante il profilo trasversale della superficie superiore del terrapieno,

quando non cangia la densità della terra, e quando non varia la legge di distribuzione dei sovraccarichi. I pesi che producono la spinta in questo caso sono l volte quelli corrispondenti al terrapieno lungo l'unità, e trovansi essi uniformemente distribuiti su ogni unità di lunghezza di terrapieno e di parete spinta per cui si ha

$$R'_m = l R_m ,$$

$$Q'_m = l Q_m ,$$

$$V'_m = l V_m .$$

Se il terrapieno non soddisfa alla condizione di avere per tutta la sua lunghezza un profilo costante, se l'altezza della parete spinta varia, se varia la densità della terra, bisogna allora mediante piani perpendicolari alla parete spinta scomporre il terrapieno in parti per cui siano verificate le condizioni indicate, trovare le spinte, le loro componenti orizzontali e verticali per tutte queste parti e regolare così la resistenza dei ritegni in modo conveniente all'azione che le spinte stesse esercitano su di essi.

I dati pratici necessari nel calcolo della spinta delle terre sono principalmente il peso Π dell'unità di volume di terrapieno e l'angolo d'attrito φ delle terre fra di loro e φ' delle terre contro i ritegni; riguardo a Π e φ possono servire i seguenti dati:

NATURA DELLE TERRE	Angolo φ	Peso di un d. m. c.
Terre sabbiose	34°	Kg 1,9
Terre sciolte asciutte	39°	» 1,5
Terre ordinarie	45°	» 1,4
Terre argillose asciutte	55°	» 1,6
Terre argillose umide	31°	» 1,9

Riguardo all'angolo φ' d'attrito delle terre contro i ritegni poche esperienze vennero sinora eseguite, ed eccone i risultati ottenuti :

NATURA DELLE TERRE	Angolo φ'
Terre asciutte e sciolte	30°
Terre bagnate e terre che si lasciano ram- molire dall'acqua	47°

Ma però questi dati non sono sicuri, e di più osservando che nella pratica i ritegni che si usano per impedire gli scoscendimenti di terrapieni sono quasi sempre muri di sostegno, fatti generalmente in modo che dalla parte per cui si appoggiano contro alle terre presentino delle scabrosità e delle prominenze considerevoli lasciando delle pietre sporgenti, affinché le terre costipate contro l'opera murale penetrino nei diversi vani, ed aderiscano alle loro pareti, facilmente si comprende come, avvenendo scorrimento in basso del prisma di massima spinta, debba esso separarsi dalla parete del muro restando pieni di terra i detti vani, ed aver luogo scorrimento del prisma stesso non contro una parete murale, ma sibbene contro una superficie coperta di terra. Segue da ciò che si può considerare nella pratica che il prisma di massima spinta tenda a scorrere fra due massi laterali della terra stessa di cui esso è costituito onde si può assumere non allontanandosi dalla realtà dei fatti

$$\varphi' = \varphi .$$

Pei valori dei sovraccarichi si devono prendere i valori massimi che essi possono acquistare, e quando la superficie sovraccaricata è quella di una strada che corre superiormente ad un terrapieno mediamente, si possono essi assumere di 490 a 700 chilogrammi per ogni metro quadrato della superficie superiore di una strada ordinaria, e di 1500 a 1900 chilogrammi per ogni metro quadrato della lista entro la quale sono disposte le traversine per una via ferrata.

II.

Passando ora alla seconda parte del nostro assunto, ci proporremo come applicazione del metodo indicato il seguente problema: *Si debba sostenere con un muro una via ferrata ad un binario colla larghezza di metri 3,5 alla superficie superiore del ballast: il terreno costituente la montagna ai piedi della quale corre la strada mediamente si mantiene in equilibrio con una scarpa di 7 base per 3 di altezza ed è di 12^m la massima altezza che deve avere il muro di sostegno, il quale deve presentare la scarpa di $\frac{1}{8}$ nella facciata esterna e quella di*

$\frac{1}{10}$ nella facciata interna ed una serie di contrafforti verso terra.

Nel fare lo studio del muro domandatoci dal problema noi ci prefiggeremo di mantenere costante lo spessore del muro alla sommità facendo variare la sporgenza dei contrafforti. In tutta la sua lunghezza supponiamo che pella natura del terreno sottostante il muro debba presentare quattro differenti altezze di 12^m, di 10^m, di 8^m e di 6^m, e lo spessore costante alla sommità sia di 0^m,60, i contrafforti si pongano a distanza di 4^m fra asse ed asse, abbiano la sezione rettangolare e lo spessore di un metro, la loro sporgenza, come abbiamo detto, sarà variabile per le diverse altezze del muro, e sarà quella che noi ci assumeremo come incognita nel porre le condizioni di stabilità relative al nostro muro.

Le forze sollecitanti il muro sono il peso del masso murale che noi diremo P , e la spinta delle terre in luogo della quale possiamo considerare le sue componenti Q e V ; ora può avvenire che il muro scorri sulla base AO (fig. 7), provocandosi la resistenza allo scorrimento, oppure che rotoli attorno all'orizzontale proiettata in O pro-

vocandosi la resistenza al rovesciamento, od infine può schiacciarsi in un punto della base, provocandosi la resistenza allo schiacciamento.

La forza che tende a produrre lo scorrimento sarà la sola Q , e quella che si oppone sarà la forza d'attrito $f[P + V]$ essendo f il coefficiente d'attrito, dicendo adunque ν il coefficiente di stabilità relativo allo scorrimento potremo porre l'equazione

$$Q = \nu f [P + V] \dots\dots (b).$$

Si suole assumere ν variabile fra $\frac{4}{5}$ e $\frac{2}{3}$, f di circa 0,57 se si mette terra dietro il muro quando è ancora fresco, e di circa 0,75 se si mette terra dopo che le malte hanno già fatta presa; esprimendo il P in funzione dell'incognita cioè della sporgenza dei contrafforti, si potrà ricavare questa incognita.

Riguardo al rovesciamento la forza che tende a produrlo è Q che opera con momento Qq essendo q il braccio di Q rispetto al punto O , le forze che si oppongono sono le P e V che agiscono con momenti Pp e Vv , essendo p e v i rispettivi bracci, onde l'equazione di stabilità sarà:

$$Qq = n^{\nu} [Pp + Vv] \dots\dots (c)$$

n^{ν} coefficiente di stabilità che si può fissare fra $\frac{2}{3}$ e $\frac{4}{3}$ p , q , v sono tre quantità che si possono esprimere in funzione della nostra incognita, ed ottenere così di essa un nuovo valore che si paragona col primo ottenuto nel porre l'equazione di stabilità relativa allo scorrimento, e dei due se ne sceglie il maggiore. Ponendo il punto H d'applicazione della massima spinta contro la parete interna del muro si può facilmente determinare il q che non sarà che la verticale HI , così anche la v che sarà IO ed avere così subito il Qq ed il Vv . Per avere Pp si scompone il masso murale, considerandone la porzione compresa fra asse ed asse di due contrafforti successivi, in un prisma a base parallelogrammica formato dai due

mezzi contrafforti avvicinati, in un altro prisma base parallelogrammica ottenuto conducendo un piano CD parallelo alla parete interna del muro, e finalmente in un prisma a base triangolare; di ciascuno di questi prismi si farà il peso, e poscia il suo momento rispetto al punto O ; la somma di questi momenti parziali ci darà il totale Pp . Dicendo P_1, P_2, P_3 i pesi dei tre prismi, e p_1, p_2, p_3 i loro bracci, avremo:

$$Pp = P_1 p_1 + P_2 p_2 + P_3 p_3$$

essendo

$$P_1 p_1 = P_1 \left[\alpha \frac{h}{2} + \frac{1}{2} b + c \right],$$

$$P_2 p_2 = P_2 \left[\alpha \frac{h'}{2} + \frac{1}{2} b + c \right],$$

$$P_3 p_3 = P_3 \left[\beta h'' + \frac{1}{3} c \right],$$

in cui $AB = a$, $BC = b$, $CO = c$, h l'altezza dei contrafforti, h' l'altezza del muro, h'' la distanza del centro di gravità del prisma triangolare dalla base del muro, ed indicando con α e β le due scarpe interna ed esterna del muro.

Rimane a vedere se vi è pericolo di schiacciamento; supponendo tolto l'appoggio sottostante al muro in un dato punto, si dovrà sostituire una reazione che non sarà nè verticale nè orizzontale, quindi ametterà due componenti, una orizzontale e l'altra verticale, e per l'equilibrio l'orizzontale deve essere eguale a Q e la verticale eguale $P + V$: sia M il punto in cui questa reazione è applicata alla base del muro per individuarlo, facciamo $OM = \delta$, ed osserviamo come tutte le forze applicate al masso che si considera devono farsi equilibrio intorno al punto O , epperò avremo:

$$Qq - Vv - Pp + [P + V] \delta = 0$$

da cui si ricava:

$$\delta = \frac{Pp + Vv - Qq}{P + V} \dots \dots (d)$$

Cerchiamo ora la massima pressione riferita all'unità superficiale, segniamo la proiezione orizzontale del muro (fig. 8), e supponiamo che δ sia portata da H' in G' , si paragona questa lunghezza con KS , se $H'G'$ è minore di $\frac{1}{3}$ di KS allora la parte premuta sarebbe solo un rettangolo di base tre volte $H'G'$ secondo la teoria delle resistenze delle murature, ed allora la massima resistenza riferita all'unità di superficie sarà data da

$$K' = \frac{2 [P + V]}{3 d \delta} ,$$

essendo d la distanza da asse ad asse di due contrafforti; ma quando $H'G'$ è maggiore del terzo di KS , la parte premuta si estende anche negli speroni, ed allora ha luogo la determinazione della linea che separa la parte premuta dalla non premuta, e sarà questa la $\alpha\beta$ che si ottiene portando $K\alpha = 3H'G'$, si calcola allora l'area $K\alpha TX\beta P$ che diremo Ω , e l'equazione determinatrice della massima resistenza riferita all'unità di superficie sarà

$$K' = \frac{2 [P + V]}{\Omega} \dots\dots (e)$$

Trovato questo valore di K' , si sostituisce nell'equazione di stabilità

$$K' = nR \dots\dots (f)$$

donde si ricava il valore di n , il quale, affinchè vi sia stabilità, deve essere minore o tutto al più uguale ad $\frac{4}{10}$.

Noi assumeremo il sovraccarico come uniformemente distribuito sopra la lista rettangolare sovrastante alle traversine che supporremo di larghezza 2^m,70, e sia di 1600 chilogr. per ogni metro quadrato di superficie. Per peso di un metro cubo di terra prenderemo 1600 chilogr.; per peso d'un metro cubo di muratura 2000 chilogr.

L'angolo d'attrito φ sia eguale φ' ed uguale a 46° , $f = 0,57$, $\gamma = \frac{3}{5}$;

n^{iv} pure eguale a $\frac{3}{5}$.

Ora passeremo a fare i calcoli e le costruzioni relative alle diverse sezioni del muro varianti fra di loro per le diverse altezze.

Pel muro alto 12 metri cominceremo a determinare la massima spinta delle terre (fig. 9 e 10), avremo che :

$$\alpha = 180^\circ - 84^\circ - 45^\circ = 51^\circ,$$

poi provando diversi piani troviamo che può assumersi per piano di distacco quello che fa coll'orizzonte un angolo $\psi = 60^\circ$, e la massima spinta la troviamo

$$R = 16250,$$

le sue componenti saranno

$$Q = 12500,$$

$$V = 40000.$$

Pella determinazione del punto H d'applicazione della spinta, usando le formole indicate in proposito, cioè le (a) avremo :

$$x_1 = 4,50,$$

$$y_1 = 8,30,$$

si porta così a posto G e quindi H , la cui distanza dalla base sarà di metri 4,40.

Consideriamo un tratto di muro compreso fra gli assi di due contrafforti successivi, cioè di lunghezza 4^{m} si ha

$$R = 55000,$$

$$Q = 50000,$$

$$V = 40000,$$

onde sostituendo nell'equazione relativa allo scorrimento cioè nella (b) si ha

$$a = 1,54,$$

riguardo al rovesciamento, usando la (c) indicata per questa determinazione; essendo in questo caso

$$h = 0,60, \quad c = 0,30, \quad h = 11^m, \quad h' = 12^m, \quad h'' = 4^m,$$

$$\alpha = \frac{1}{10}, \quad \beta = \frac{1}{8},$$

avremo

$$a = 2,55,$$

che assumeremo per la sporgenza dei contrafforti, essendo maggiore di quello prima trovato nel caso dello scorrimento.

Verifichiamo ora la stabilità per riguardo allo schiacciamento useremo la (d) che ci darà:

$$\delta = 0,55$$

che è maggiore del terzo dello spessore del muro alla base, non considerando i contrafforti, quindi bisognerà usare la (e), donde avremo:

$$K' = 67200,$$

e sostituendo questo valore nella (f) ponendo $R = 700000 \text{ Kg}$ per m. q., ricaveremo

$$n < \frac{1}{10},$$

e potremo dire esservi stabilità per riguardo allo schiacciamento.

Pel muro alto 10 metri (fig. 11 e 12), avremo:

$$\alpha = 180^\circ - 84^\circ - 45^\circ = 51^\circ,$$

e tra i diversi piani quello di distacco sarà quello che fa coll'orizzontale un angolo di 64° , e la massima spinta sarà

$$R = 12000$$

colle sue componenti

$$Q = 9000,$$

$$V = 7500.$$

Il punto G sarà individuato dai valori.

$$x_1 = 1,40,$$

$$y_1 = 7,40,$$

quindi anche H che dista dalla base di metri 3,70.

Pel tratto compreso fra i due contrafforti

$$R = 48000,$$

$$Q = 36000,$$

$$V = 30000,$$

onde dalla (b) abbiamo

$$a = 1,30,$$

mettendo nella (c) i valori $b = 0,60$; $c = 0,25$; $h = 9^m$; $h' = 10^m$;

$$h''' = 3,30, \quad \alpha = \frac{4}{40}, \quad \beta = \frac{4}{8},$$

si ricaverà:

$$a = 2,45,$$

valore che anche in questo caso è maggiore di quello trovato pello scorrimento, quindi si prenderà per sporgenza dei contrafforti nei siti dove il muro è alto 10 metri.

La (d) poi ci dà:

$$\delta = 0,58,$$

anche qui maggiore del terzo dello spessore del muro alla base, quindi usando la (e), dedurremo che:

$$K' = 62110,$$

quindi vi è stabilità per riguardo allo schiacciamento, essendo

$$n < \frac{1}{40}.$$

Consideriamo ora la parte di muro la cui altezza sia di 8 metri (fig. 13 e 14), sarà:

$$\alpha = 51^\circ ,$$

ed il piano che fa coll'orizzonte un angolo di 65° sarà quello che può assumersi, come si vede dalla costruzione grafica, come piano di distacco.

$$R = 8000 ,$$

$$Q = 6250 ,$$

$$V = 5000 .$$

Per fissare il punto G avremo:

$$x_1 = 0,93 ,$$

$$y_1 = 5,80 ,$$

il punto H poi dista dalla base di metri 2,75.

Per la parte di muro compresa fra i due contrafforti

$$R = 32000 ,$$

$$Q = 25000 ,$$

$$V = 20000 ,$$

sostituendo nell'equazione relativa allo scorrimento

$$a = 1,20 ,$$

l'equazione relativa al rovesciamento in cui

$$h = 0,60 , \quad c = 0,20 , \quad h = 7^m , \quad h' = 8^m , \quad h''' = 2,80$$

$$\alpha = \frac{4}{10} , \quad \beta = \frac{4}{8} ,$$

ci dà

$$a = 1,90 ,$$

che sarà la sporgenza dei contrafforti per questo tratto.

Sostituendo ora i suoi valori nelle equazioni stabilite per la verifica della stabilità riguardo allo schiacciamento

$$\delta = 0,60 ,$$

$$K' = 43142 ,$$

onde esiste la stabilità essendo

$$n < \frac{4}{10} .$$

Passiamo finalmente a quel tratto di muro la cui altezza sia soltanto di metri 6 (fig. 15 e 16).

$$\alpha = 51^\circ$$

il piano di distacco fa coll'orizzonte un angolo di 68° .

$$R = 4000 ,$$

$$Q = 3250 ,$$

$$V = 2500 ,$$

pel punto *G*

$$x_1 = 0,67 ,$$

$$y_1 = 4,43 .$$

H poi dista dalla base di metri 1,70.

Per la parte compresa fra i due contrafforti

$$R = 16000 ,$$

$$Q = 13000 ,$$

$$V = 10000 ,$$

mettendo i suoi valori nella (b) relativa allo scorrimento, troviamo per la sporgenza dei contrafforti un valore negativo, il che ci indica che il muro resiste da solo allo scorrimento anche senza contrafforti;

non così però per riguardo al rovesciamento per cui usando la (c) mettendo in essa

$$h = 0,60, \quad c = 0,45, \quad h = 5^m, \quad h' = 6^m, \quad h'' = 4,50,$$

$$\alpha = \frac{4}{10}, \quad \beta = \frac{4}{8},$$

ricaviamo

$$a = 1,60$$

che si assumerà per isporgenza dei contrafforti.

Verifichiamo ora la stabilità pello schiacciamento

$$\delta = 0,65,$$

$$K_1 = 11080,$$

ed anche qui vi è stabilità, essendo

$$n < \frac{4}{10}.$$

GIUSEPPE PASSERINI.

Fig. 1.

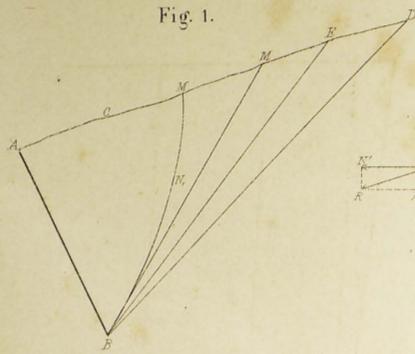


Fig. 2.

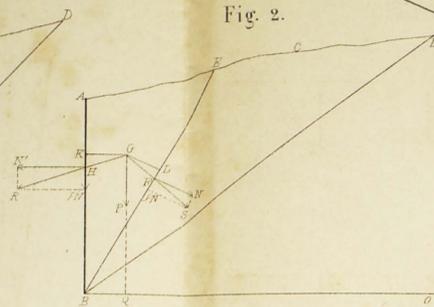


Fig. 9.

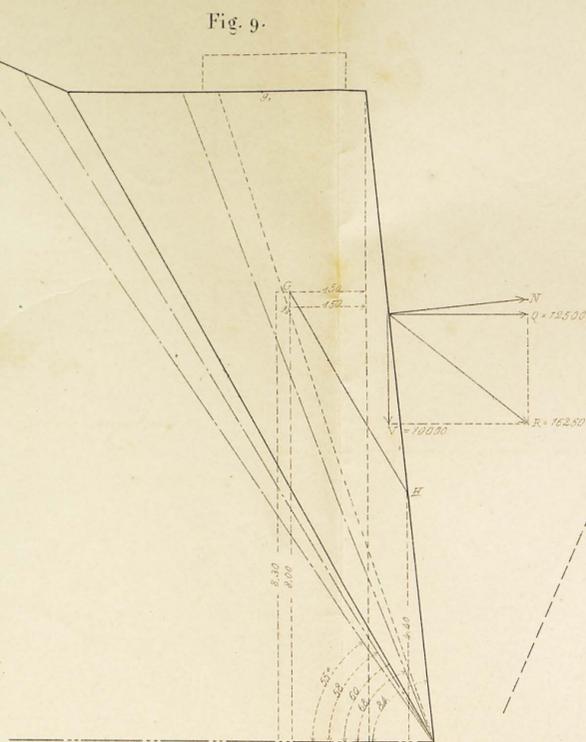


Fig. 10.

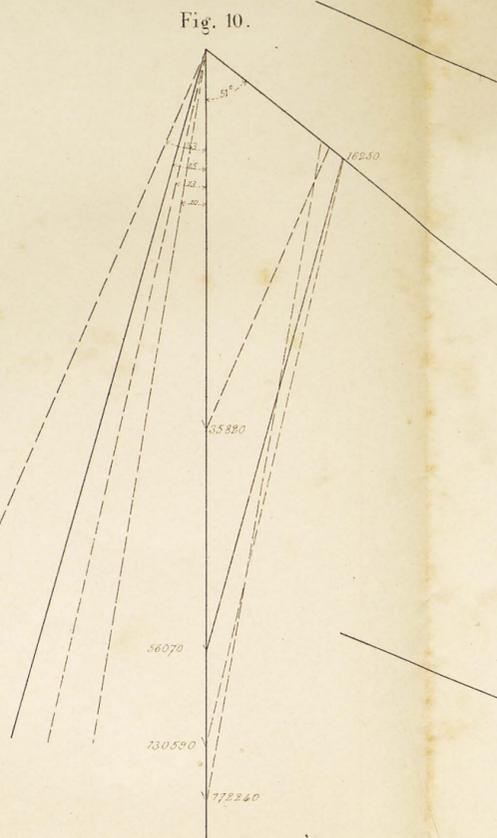


Fig. 15.

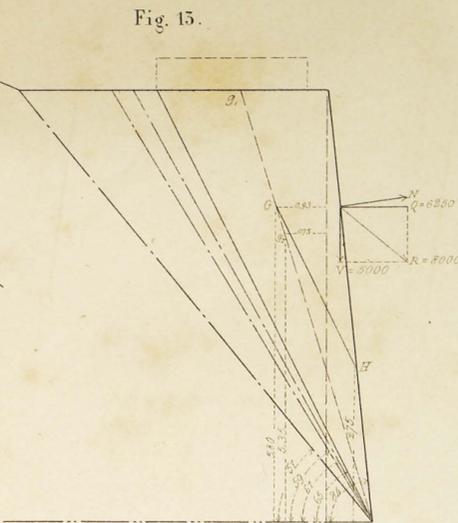


Fig. 14.

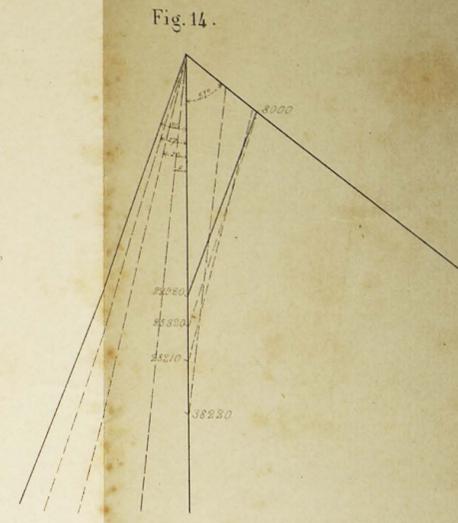


Fig. 3.

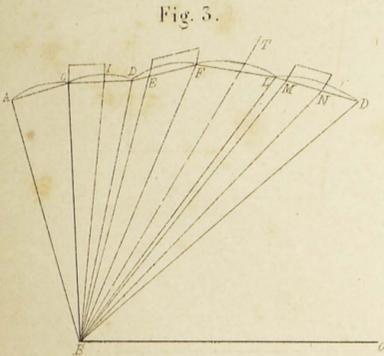


Fig. 4.

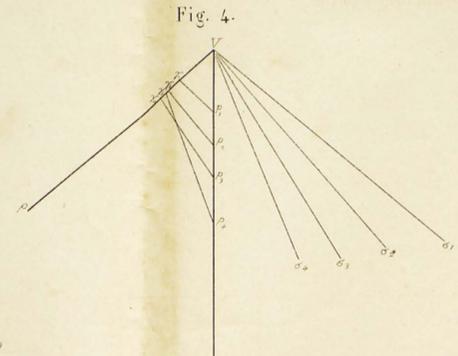


Fig. 15.

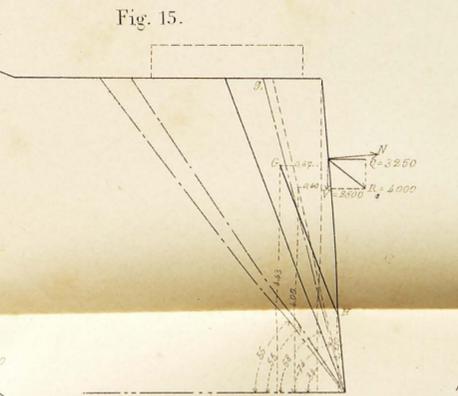


Fig. 16.

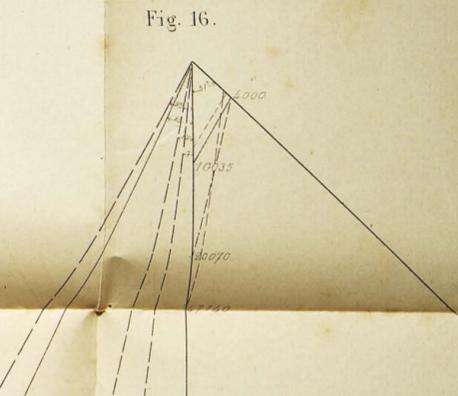


Fig. 5.

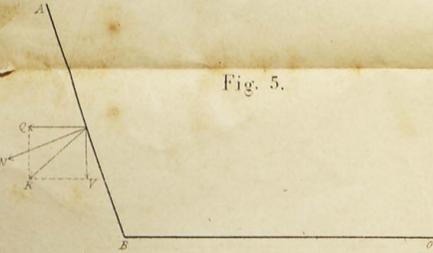


Fig. 6.

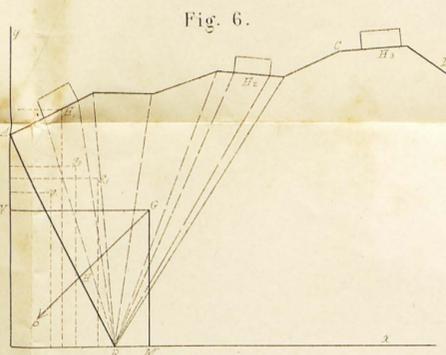


Fig. 11.

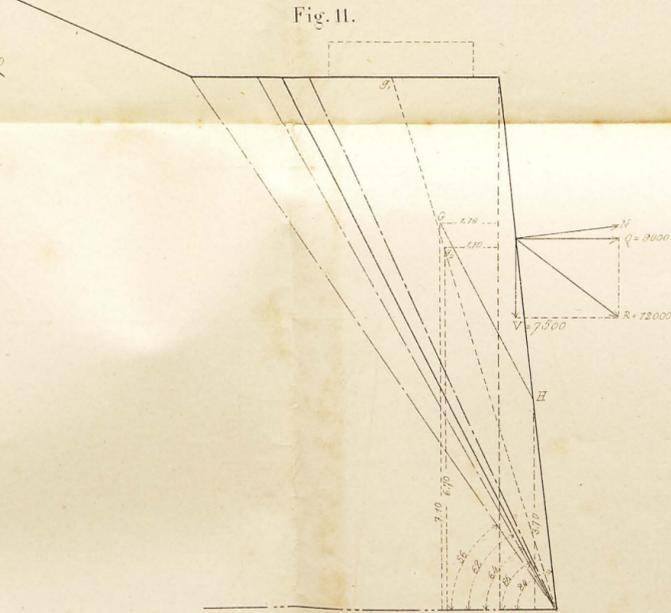


Fig. 12.

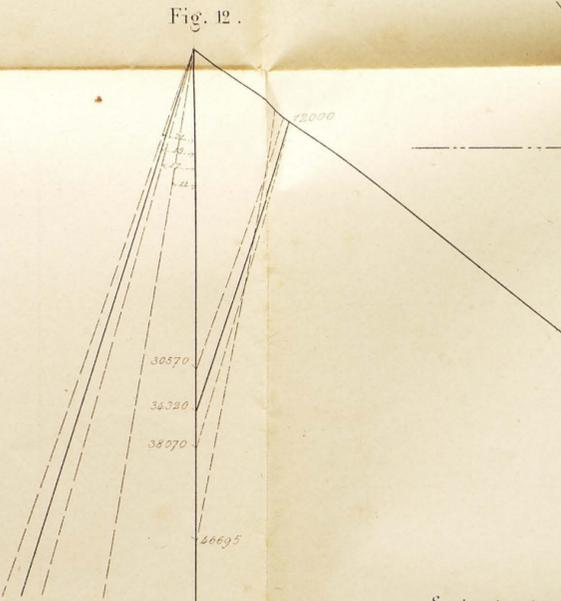


Fig. 8.

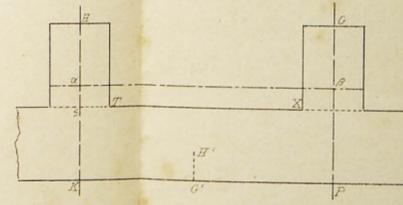
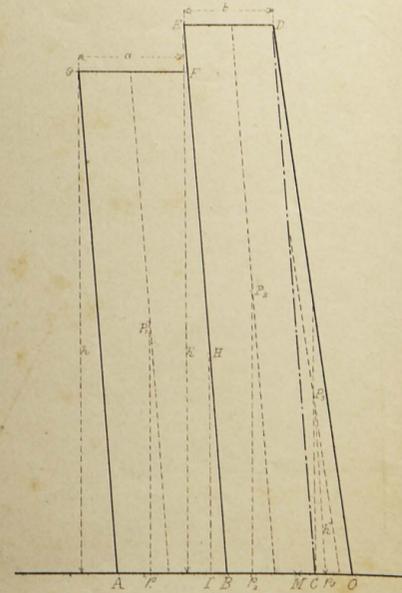
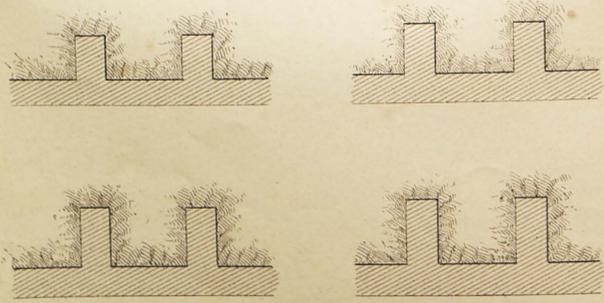


Fig. 7.



Licuta del muro alle diverse altezze.

1/200



Sezioni trasversali.

1/200

