



Luigi Campanella - Telle Mine
Piovanini fininto - Locomotiva di montagna
Sifonini - Fabbro - Pitture di olio (etc):
Fabbro ferrato - arista idraulica.

Luca - Macchinista Francesco - Locomotiva Feltre

Ermete Barabbi - Trojone (col ferro)

Levi Riccardo - Macchinista Colanin D'Angelo

Trova - Emilio - Macchinista - Colanin.

Israel Sacertote - Forno Fumicari

Conetto Falliani - arista Beppeara

Carlo Masone - Fabbro Doppio Metallina.

Roberto Masone - Forno per colata.

Luigi Favelloni - Fabbro meccanico.

Alessandro Barbucci - Macchinista di Lancia.

Francesco Benedetti - Vantaggiatore.

Luigi Emilio - Turbini.

Ermete Masone. Distributore di ferro.

Edoardo Dubok. Forno per variati ferri.

Ser. 3643





All' Anno. Coll. G. Cerrutti
ricordando

G. Luigi Campanella

Dono del Sf. Rettore

10/6/69





G. 46

~~3673~~
2

DISSERTAZIONE E TESI

PRESENTATE

ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

DELLA

R. Scuola d' Applicazione per gl' Ingegneri

IN TORINO

DA

LUIGI CAMPANELLA

DI

GENOVA

PER OTTENERE IL DIPLOMA

DI

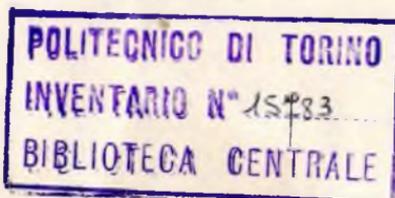
INGEGNERE LAUREATO

—
1869
—

GENOVA

TIPOGRAFIA DI GIUSEPPE MAMBILLA

Via Palestro, N. 2.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

PHYSICS 309

DELLE MINE

•

DI UNA NUOVA TEORIA SULLE MEDESIME





Nel settembre del 1863 il Generale Cavalli fu chiamato a dirigere i lavori per la esecuzione di una mina sul monte Orfano destinata a smuovere e sconquassare la roccia, per rendere in tal modo più facile l'estrazione dei massi granitici che esso fornisce.

Per determinare la quantità di polvere necessaria da caricare la mina egli non aveva alcun dato d'esperienza su mine simili eseguite in altri paesi, ed in Italia era questo il primo tentativo; e poi dovea andare guardingo sulle formole note, poichè in caso di mancato successo s'affacciava la rovina degli intraprenditori per la grave spesa incontrata, e più ancora pei danni per cui i vicini protestavano, proteste che da atti notarili risultavano di più di un milione.

Queste gravi circostanze obbligavano il Generale Cavalli a determinare colla maggior possibile esattezza la carica da adoperarsi, dopo di aver bene esaminata la località. Ed a questo uopo giovandosi dei risultati di alcune esperienze di artiglieria, egli cercò la carica necessaria per solleverare a meno di due mil-

limetri la massa del monte, la quale era stata valutata di circa 200,000 tonnellate. I suoi calcoli lo portarono ad adoperare una carica di 2000 chilogrammi; ed in tal modo egli fu sicuro che il monte sarebbe stato appena smosso, e tale era appunto lo scopo da raggiungersi, tanto per evitare ogni danno ai vicini, quanto per non frantumare il granito, pregio dell'opera essendo il conseguire grossi pezzi.

I risultati furono soddisfacentissimi, imperocchè i massi di granito di bella e buona qualità che se ne trassero, si calcolarono di un valore più che triplo della spesa che, tutto compreso, sarà stata appena di 12000 lire (*).

I calcoli del Generale Cavalli sono, come si disse, fondati puramente sull'esperienza; in ciò dunque un tal metodo si avvicina agli altri finora usati, i quali si riducono alla generalizzazione di alcuni fatti per mezzo di formole empiriche. Ma i fatti pratici da sè soli sono insufficienti per istabilire le leggi che legano i fenomeni fisici. E invero sono sette le formole empiriche

(*) Memorie della R. Accademia delle Scienze di Torino, 1864.

finora conosciute, e sono quelle del Marescot, Dobenheim, Lebrun, Gosselin, Müller, Bélidor e Mouzé; ma esse presentano delle differenze tali che i pratici provano la più grande difficoltà nel decidere sulla scelta di quella che debbano preferire. Egli è d' uopo riconoscere quelle leggi per mezzo dell' analisi; soltanto, nelle applicazioni alle mine, si deve tener conto delle esigenze che la pratica impone a seconda delle proprietà del mezzo in cui si opera, degli effetti che si vogliono ottenere e della potenza della polvere con cui si caricano i fornelli.

Il Capitano Piron ha tentato di dare una nuova teoria delle mine in una sua opera pubblicata a Parigi nel 1867. Una breve esposizione di essa teoria è lo scopo a cui tende questo mio scritto, oltredichè ho creduto vantaggioso aggiungere alcuni cenni sulla polvere ordinaria e sulle altre sostanze esplosive con cui ora si cerca di sostituirla.

L' Illustrissima Commissione Esaminatrice porti essa l' autorevole suo giudizio sui principii del Piron e sopra il modesto lavoro che ho l' onore di presentarle.



I.

NOZIONI GENERALI

SULLA POLVERE ORDINARIA E SULLE MINE

Anticamente s'intendeva per mina una strada sotterranea per cui penetrare nelle città, ovvero un cunicolo con cui scalzare le fondamenta delle mura e delle torri che così rovinavano. Di qui venne il nome di mina ad una escavazione, detta anche miniera, fatta nel seno della terra onde ricavarne materiali utili ai bisogni umani, o più comunemente a quelle opere che nell'arte della guerra ed in quella del costruttore e del coltivatore di miniere servono a smuovere o far saltare opere murali o roccie per mezzo della forza espansiva della polvere pirica.

Strumenti adoperati dagli antichi nei loro scavi erano il piccone ed il calore di grandi fuochi, ma il lavoro era di una grande lentezza, e quindi l'applicazione della polvere fu uno dei progressi più rimarchevoli dell'arte del minatore, poichè essa minorò immensamente e tempo e spesa.

Fu Domenico da Firenze il primo a cui venne in pensiero di usare la polvere a far saltare le mura nemiche durante l'assedio di Pisa nel 1407; ma la sua idea non ebbe nè effetto nè seguito. Però la potenza esplosiva della polvere continuando a svelarsi rovinando e bruciando palazzi in varie città, doveva incitare gli uomini di guerra e di pace a trarne profitto; ma è certo che il germe dell'invenzione delle moderne mine non

fu ridotto a teoria prima della metà del secolo XV. Il più antico saggio che siami stato dato di trovare (scrive il Ch.^{mo} Carlo Promis) si è nel codice di cose militari che Giovanni Mariano da Siena componeva nel 1449.

Anche Leonardo da Vinci fu tra gl' ingegneri che si adoprarono teoricamente intorno alle moderne mine, e ne fece speciale memoria nella proposta presentata circa il 1483 a Lodovico il Moro.

Frattanto che gl' ingegneri studiavano questa teoria se ne faceva la prima applicazione dai Genovesi all'assedio di Sazanello nel 1487; poi dagli Spagnuoli nel 1502 per far saltare i Castelli Nuovo e dell'Uovo a Napoli.

Della prima applicazione della polvere nelle miniere e nelle cave, cioè per puro scopo industriale, non vi hanno dati precisi. Secondo il Burat (*) pare che rimonti al 1632; ma secondo B. Kerl si sa che fu adoperata nelle miniere di Freiberg nel 1613 e in quelle di Harz nel 1632. Si trova memoria che venisse in Allemagna anche usata nel 1673 e nel 1678.

Però sembra incredibile che siensi lasciati passare quasi due secoli dall'applicazione della polvere da fuoco nelle mine militari, alla sua applicazione nelle miniere.

La polvere da fuoco o polvere da sparo o da guerra è un miscuglio intimo, e non una combinazione chimica, di salnitro, di solfo e di carbone; componenti tutti che quanto alla loro natura sono identici a quelli anticamente conosciuti e adoperati.

Quanto alle proporzioni dei materiali nitro, solfo e carbone, esse non sono costanti presso le diverse nazioni; possono variare inoltre le medesime secondo gli usi ai quali la polvere è destinata, ma è pur vero che esse non mai grandemente si allontanano da una norma primitiva o tipica, che la pratica già insegnò e che la scienza approva e consiglia (**).

Dico che la pratica insegnò, perchè non si sa chi fos-

(*) Burat. *Mineralogie appliquée*.

(**) Sobrero — *Manuale di chimica applicata alle Arti*.

se il primo a mescolare 75 parti di nitro con $12\frac{1}{2}$ di carbone e $12\frac{1}{2}$ di solfo ed averne la polvere detonante. Il frate Bertoldo Schawartz, tedesco, che dicono le trovasse a caso, pare da collocarsi fra gli enti favolosi, imperciocchè mentre si dice ch'egli visse nel XIV secolo, Rogero Bacone nel secolo XIII la descrisse come cosa già da lunga mano conosciuta ed adoperata. Più probabile è siasi appresa dagli Arabi i quali l'abbiano avuta dalla China; e poichè quel popolo toccava in diversi punti la cristianità, in più d'un luogo introdusse le sue pratiche; onde le vediamo comparire in diverse parti ad un tratto senza che si meni alcun vanto degli autori. Confermano ciò le ricerche di Lodovico Lalanne, del Reinaud e Favet, del Lacabanne ed altri (*); come pure le cognizioni lasciate da I. F. Davis antico presidente della Compagnia delle Indie (**).

Le proporzioni dei componenti della polvere variano secondo gli usi ai quali essa è destinata, ed infatti se 75 di nitro, $12\frac{1}{2}$ di solfo, e $12\frac{1}{2}$ di carbone sono i componenti della polvere da cannone, per quella da mina e da caccia si diminuisce la proporzione del nitro. In quella da mina non si richiede esplosione molto rapida, ma soprattutto buon prezzo, e uno sviluppo di gas in quantità maggiore possibile, cosa che si ottiene aumentando lo solfo e diminuendo il nitro per la stessa quantità di carbone che nella polvere da guerra.

Quindi la composizione della polvere da mina si fa: 62 di nitro, 18 di carbone, 20 di solfo. Quantunque il vantaggio dell'aumento dei gas venga limitato da una minore temperatura nella combustione, pure si usa quel miscuglio, diverso da quello da guerra, perchè assorbe minore umidità e costa meno. Non si potrebbe però adoperare nelle armi da fuoco poichè, per la maggiore quantità di solfo, dopo la combustione si forma maggiore residuo solido che è quello che esercita cattiva azione sulle armi. Il punto d'accensione della polvere è a 250° e basta a produrre questa accensione il calor rosso, la scintilla elettrica, un colpo violento.

(*) Girardin. *Leçons de Chimie élémentaire.*

(**) V. Pozzi. *Dizionario di Chimica e Fisica.*

La sua combustione, quantunque abbia luogo in un tempo brevissimo, pure non è istantanea; come quella che procede da grano a grano, ed in ciascun grano per superficie concentriche.

La polvere detonando, da luogo a gas acido carbonico, ad azoto, ad ossido di carbonio, a vapor d'acqua e ad un residuo di solfuro di potassio. Primo a tentare la misura del volume di questi gas fu Giovanni Bernoulli, il quale trovò essere circa 100 volte il volume della polvere impiegata; egli però ignorava la solubilità dei gas nell'acqua (*).

Anche il Conte di Saluzzo studiò sui fluidi elastici che sviluppa la polvere da cannone allorquando s'infiamma, e conobbe che i gas occupano 200 volte il volume della polvere da cui provengono (**).

Ma esperienze più recenti di Gay-Lussac dimostrarono che un decimetro cubo di polvere che pesi 0^{chg.} 900 produce 450 litri di gas a 0' ed alla pressione di 0^{m.} 760; ed in questo dato si ha da avere tutta confidenza, stante la nota abilità del grande sperimentatore.

L'elevazione di temperatura che ha luogo al momento della detonazione è enorme; dappoichè sorpassa i 2500° secondo Bunsen e Shischkoff; ma non arriva sicuramente agli 8984° di Prechtl, perchè egli nel trovar questo risultato ammise costanti i calorici specifici dei gas ad alte temperature, e non tenne conto del calore che si rende latente nell'atto della formazione dei gas (***). Dei quali gas l'alta temperatura fa diventar decuplo il volume, ed è la principale causa degli effetti della polvere. La pressione che ne proviene si può ritenere sorpassare le 4000 atmosfere, e quindi non sarà esagerato il dire che una cartuccia di 12 ettogr.^{mi} di polvere solleva 20 quintali di pietre ed altrettanti ne scuote e screpola.

L'adoperare della polvere nelle miniere e nelle cave condusse ad un metodo sem plicissimo, consistente nel praticare

(*) V. F. Hofer. *Histoire de la Chimie.*

(**) *Melange de philosophie et de mathématique de la Société Royale de Turin*, 1760-1761.

(***) *Muspratt' s. Chemie frei bearbeitet von Dr F. Stohmann.*

debitamente dei fori cilindrici nella roccia che si vuole far saltare, nell'introdurre in essi una cartuccia con carica tale che sia in rapporto colle dimensioni dei fori e colla resistenza della roccia, nell'intasarla convenientemente e darle fuoco.

Per mine molto rilevanti si fa invece una galleria che arrivi prossimamente fin sotto il centro di gravità del masso a staccarsi, vi si pone all'estremo la quantità di polvere necessaria, e poi si chiude od intasa acciocchè i gas della combustione non escano per essa. Le gallerie si faranno piccole e con risvolti acciocchè siano più difficili le perdite. Nella mina data a Baveno dalla vedova Galli nel 1866 si ebbe qualche perdita, perchè non si tennero le condizioni precedenti, contuttociò il risultato non mancò di essere soddisfacente.

Non parlerò ora nè degli utensili adoperati dal minatore, nè del modo di caricare le mine, nè di tante altre particolarità di cui dovrebbe parlare colui che volesse dare un'idea completa dell'arte del minatore, non essendo questo il mio assunto. Solo dirò che quanto alla posizione dei fori, si esige dalla parte dei minatori intelligenza ed abitudine, perchè è difficile il dare qualche regola, essendo questa posizione determinata da circostanze variabili e complicate.

Da varii anni, pei fori delle mine si adopera con successo la perforazione meccanica, senza della quale sarebbe stata follia lo sperare che col 1871 si potesse dall'Italia passare in Francia per mezzo di una galleria fatta nelle viscere delle Alpi.

Si hanno perforatori a pressione d'acqua, a vapore e ad aria compressa (*). I quali ultimi hanno ottenuto la preferenza per i molti vantaggi diretti e indiretti che presentano sugli altri.

Per quelle rocce poi in cui sono insufficienti gli utensili in acciaio, si cercò d'impiegare il diamante. Questa idea venne al Leschot e fu applicata dal Pichet in una sua macchina semplicissima e d'assai grande potenza. I diamanti adoperati sono i neri pel loro minor prezzo.

Per poi ingrandire i fori da mina già fatti, si hanno gli apparecchi scavatori del Trouillet (**), che agiscono su tutte le

(*) V. Lacroix. *Etudes sur l'exposition de 1867.*

(**) V. Lacroix (già citato).

rocce, mentre che quello del Courbebaisse (mine acidulate) non può essere applicato se non alle rocce calcari e compatte.

Dagli esperimenti del generale Marescot risulta fuor di dubbio che l'effetto della polvere varia colla intasatura, e si ha grande economia, se si lascia un vano nello spazio ove agisce la carica. A questo modo si aumenta l'effetto utile di un dato peso di polvere, aumento che si ottiene pure col porre nella cartuccia un cilindretto di legno duro o di ferro, oppure col mescolare alla polvere della segatura di legno; diviene così maggiore la superficie sopra la quale i gas agiscono.

Quanto alle mine sott'acqua è da sapere come, finchè l'altezza dell'acqua non è molto considerevole e solo si eleva di pochi decimetri sopra il livello della roccia nella quale vuolsi praticare la mina, il minatore può usare procedimenti analoghi a quelli che si seguono operando all'asciutto. Ma questi procedimenti sono insufficienti quando si devono praticare delle mine sotto masse acquee di altezza considerevole. In tali circostanze si cercò sovente di trar partito d'apparecchi molto simili agli adoperati per le fondazioni ad aria compressa; e ciò per poter far lavorare gli operai all'asciutto.

Ma di questi metodi troppo dispendiosi, molto più economico è quello che fu di gran uso negli Stati Uniti, che servì al Ravier per iscavare la roccia esistente all'entrata del porto d'Algeri, e che venne seguito nell'esecuzione della via ferrata del litorale ligure. Questo metodo economico consiste nel disporre sulla roccia che vuolsi far saltare diverse grosse botti piene di polvere da mina e nel produrne la simultanea esplosione. In questo sistema di mina subacquea la colonna liquida sovrastante alle botti fa ufficio d'intasatura, e l'effetto dello scoppio apparisce esteriormente mediante un'agitazione nell'acqua e un sobbollimento causato dallo sprigionarsi dei gas.

II.

NUOVA TEORIA DELLE MINE

Volendo ora dare un cenno della teoria del Cap. Piron, premetterò alcune definizioni necessarie per l'intelligenza della medesima.

Camera da mina è la cavità in cui ponasi la polvere; quando la mina è caricata la camera dicesi *fornello*.

Lo scavo o fossa prodotto alla superficie del suolo da una mina si chiama *imbuto*.

Linea di minima resistenza o di scoppio (che indicherò con *linea di M. R.*) è la più breve distanza che passa fra il centro della polvere o del fornello e la superficie del suolo.

Raggio dell'imbuto è quello della circonferenza che forma l'orlo del fosso od imbuto; *raggio d'esplosione* è invece la linea condotta dal centro della polvere ad un punto di questa circonferenza.

Cono d'esplosione è il solido limitato dai raggi d'esplosione.

Nell'arte militare si distinguono cinque specie di fornelli da mina, cioè :

1.º *Fornello semplice* od *ordinario* nel quale il raggio dell'imbuto è eguale alla linea di *M. R.*

2.º *Fornello sopraccarico* o globo di compressione nel quale il raggio dell'imbuto è maggiore della linea di *M. R.*

3.º *Fornello sottocarico* o mina compressa in cui il raggio dell'imbuto è minore della linea di *M. R.*

4.^o *Fumacchio massimo* o *fumata massima*, che non ha imbuto, e che è il limite dei fornelli sottocarichi.

5.^o *Fogata*, che ha per oggetto di proiettare, sotto un angolo dato, dei proiettili qualunque deposti in un fosso od imbuto preparato prima.

Se chiamiamo R il raggio della base superiore del cono, la sua espressione generale sarà

$$R = n h$$

ove h è la linea di $M. R.$ ed n un numero che in generale non sorpassa il 3, perocchè il raggio dell'imbuto non sorpassa di molto tre volte la lunghezza della linea di $M. R.$, qualunque sia la carica impiegata.

Quando si fa $n = 1$ si è nel caso del fornello ordinario; quando $n = 0$ non si ha imbuto, cioè si è nel caso della fumata massima, perchè un leggiero aumento della carica darebbe ad n un valore maggiore di zero, e allora si avrebbe un fornello sottocarico.

Da $n = 0$ ad $n = 1$ i fornelli sono sottocarichi; da $n = 1$ ad $n = 3$ e al di là i fornelli sono sopraccarichi.

Nella *Fig. 1*, essendo MN la superficie del terreno, si ha in C un fornello sopraccarico ed in C' un fumacchio. La perpendicolare CL è la linea di $M. R.$, la retta Lh' è il raggio dell'imbuto e la Ch' il raggio d'esplosione.

Quantità di polvere necessaria per produrre un chilogrammetro. — Non si hanno mezzi appropriati per misurare direttamente la quantità di lavoro meccanico che può produrre una data carica di polvere, quindi bisogna ricorrere a processi indiretti.

Ammettendo col Poncelet che le cariche sono proporzionali alle forze vive impresse ai proiettili delle bocche da fuoco, la quantità di lavoro totale trasmesso da una carica di polvere posta in un cannone sarà:

$$T = \frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2 + \frac{1}{2} \frac{P'}{g} V'^2$$

dove V e V' sono le velocità impresse rispettivamente al peso P della palla e al peso P' del pezzo col suo affusto. Ma si può trascurare il lavoro perduto contro il pezzo, e ammettere che la potenza di una carica ha per misura la quantità di lavoro o la metà della forza viva ricevuta dal proiettile, cioè:

$$T = \frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2$$

Chiamando C la carica in chilogrammi che produce il lavoro T , e Q la carica necessaria per produrre un chilogrammetro, ossia l'*equivalente meccanico* della polvere, essendo le cariche proporzionali alle quantità di lavoro che esse producono nelle stesse condizioni, si avrà:

$$C : T :: Q : 1$$

onde :

$$Q = \frac{C}{T} = \frac{C}{\frac{1}{2} \frac{P}{g} V^2}$$

Perciò, conoscendosi la carica C che produce la quantità di lavoro T , si troverà l'*equivalente meccanico* della polvere dividendo la carica pel lavoro che essa produce.

L'*equivalente meccanico* della polvere così trovato non ha un valore assoluto, il suo valore numerico dipende dalle condizioni nelle quali si trova la carica C per produrre il lavoro T .

Quindi è bene fare un certo numero di esperienze, e poi prendere la media dei risultati.

Per l'artiglieria queste esperienze sono facili e poco costose; ma non è così nella pratica delle mine: quindi gioverà ricorrere alla prima, giacchè l'esattezza rigorosa non è necessaria nella determinazione della carica dei fornelli da mina: le quantità di polvere impiegate sono generalmente troppo considerevoli perchè un errore di qualche gramma possa avere influenza apprezzabile nei risultati che si vogliono ottenere.

Esperienze fatte con diverse armi da fuoco danno per Q dei valori che variano fra 18 e 36 milionesimi di chilogramma. La media sarebbe $0,^{Chg} 000027$, e rappresenterebbe l'equivalente meccanico della polvere per l'artiglieria. Ma siccome si deve, nelle mine, tener conto della perdita di gas che è inevitabile, poichè i materiali dell'imbuto sono posti in movimento, prenderemo invece

$$Q = 0,^{Chg} 00003$$

cioè ammetteremo che tre centigrammi di polvere producano, bruciando, un chilogrammetro (*). Questo numero però potrà variare se varia la qualità della polvere, e se ne varia il modo d'agire; così se è poca o nulla la perdita di gas quel numero sarà minore.

Espressione generale di una carica qualunque.

— Essendo dato il lavoro T da prodursi in un arma da fuoco, oppure in una mina qualunque, si conoscerà la carica C necessaria per produrre questo lavoro, moltiplicando T per il valore di Q adottato come equivalente meccanico della polvere.

Si avrà dunque in generale:

$$C = Q T$$

e questo valore C rappresenta, in chilogrammi, la polvere necessaria per produrre il lavoro meccanico T . Infatti, se Q rappresenta la carica che produce un chilogrammetro, le cariche essendo proporzionali ai lavori che esse producono, per un lavoro T volte più grande abbisognerà una carica eguale a T volte quella di un chilogrammetro. Per conseguenza l'equazione precedente è generale e si applica ad una carica qualunque, poichè tutte le cariche hanno per oggetto di produrre una quantità di lavoro meccanico determinato.

L'equivalente Q essendo l'unità che serve di misura alla

(*) Bausen trovò che un chilogramma di polvere produce, decomponendosi, un lavoro teorico di 67410 chilogrammetri, il che darebbe $Q = 0,^{Chg} 000013$.

carica, si potrà dire che C è una funzione di Q e rappresentare una carica qualunque con

$$C = F(Q).$$

Effetti generali prodotti dall'esplosione della carica di un fornello qualunque. — Una carica di polvere posta in un mezzo qualunque può dar luogo generalmente ai tre seguenti effetti:

1.° Formazione di uno sferoide di compressione; 2.° Disgregazione del mezzo verso la parte della minore resistenza; 3.° Proiezione delle parti disgregate.

Si ha la formazione di uno sferoide di compressione perchè la forza espansiva dei gas comprime in tutti i sensi le pareti del fornello. La curvatura di questo sferoide varia con la resistenza delle diverse parti del mezzo, e sarà una vera sfera quando il mezzo è omogeneo: ma ciò in pratica non si potrà mai avere imperocchè la densità di un mezzo aumenta con la profondità, e, la resistenza degli strati essendo minore nel senso del loro piano di posa che nel senso ad esso normale, lo sferoide sarà sempre schiacciato.

Se la forza elastica dei gas non è esaurita dopo aver formato lo sferoide di compressione, essi gas penetreranno negli strati del mezzo, si dirigeranno verso la parte che presenta meno resistenza e si formerà così il cono d'esplosione, che darà luogo all'imbuto o scavo della mina.

È evidente che si formerà questo imbuto perchè, la forza espansiva dei gas irradiando in tutti i sensi, ciascun raggio incontrerà una molecola del mezzo ambiente e ciascuna molecola sarà un proiettile, la cui traiettoria è la risultante della forza elastica dei gas, della gravità e della resistenza che il mezzo oppone alla penetrazione del mobile.

I raggi al disotto della carica o sotto-orizzontali, incontrando strati sempre più resistenti, dovranno allontanarsi dalla normale a ciascun passaggio da uno strato ad un altro, dappoichè essi tendono sempre a dirigersi in modo da incontrare la minore resistenza possibile. Dopo aver attraversato un certo numero

di strati, la traiettoria si rialza seguendo un cammino simmetrico al primo braccio della curva. Si ottiene così una curva analoga alla prodotta per rifrazione nel fenomeno del miraggio solamente che essa è di posizione inversa. Si può dimostrare che la sua equazione è quella di una parabola, il cui fuoco è il centro della polvere e che ha per asse la linea di $M R$ prolungata. Quindi la superficie dell'imbuto, che è l'involuppo di tutte le traiettorie, sarà un paraboloide di rivoluzione *V. Fig. 2.*

Persistendo sempre la forza elastica dei gas, la massa compresa nell'imbuto sarà proiettata al di fuori con una velocità iniziale che dipende dalla densità del mezzo e dalla potenza elastica che i gas hanno conservato.

Nelle fumate non si ha che la formazione dello sferoide di compressione, cioè esse producono solo un effetto sotterraneo; mentre nei fornelli ordinari, nei sopraccarichi e nei sottocarichi si hanno prodotti i tre effetti, cioè agiscono alla superficie del suolo e sotterraneamente.

Espressione generale della Carica di una mina qualunque. — Abbiamo trovato che una carica qualunque, ha per espressione,

$$C = F(Q) = Q T$$

dove T è la somma dei lavori da prodursi dalla carica e Q l'equivalente meccanico della polvere che impiegasi.

Per i fornelli da mina il valore di T si decompone in tre parti relative ai tre effetti generali di essi. Se chiamiamo t il lavoro necessario per la formazione dello sferoide di compressione, t' il necessario per la disgregazione del mezzo per formare l'imbuto e t'' il necessario per proiettare al di fuori la massa contenuta nell'imbuto, avremo:

$$(A) \quad C = F(Q) = Q (t + t' + t'')$$

Questa espressione contiene la carica delle cinque specie di fornelli da mine da noi distinti precedentemente.

Infatti essa conviene 1.º ai fornelli ordinari, 2.º a quelli so

precaricati, 3.° a quelli sottocaricati. Per la fumata massima t' e t'' sono zero e si ha

$$C = Q t$$

Nel caso particolare della fogata, l'imbuto essendo preparato prima, si avrà $t = 0$ e si troverà

$$C = Q (t + t'')$$

L'espressione (A) contiene dunque tutti i casi particolari; per conseguenza essa deve bastare per trovare la carica di un fornello qualunque.

Onde si potrà dedurre la regola, che la carica di qualsiasi fornello è eguale al lavoro da effettuarsi moltiplicato per l'equivalente meccanico della polvere.

Quindi potremo affermare che la teoria delle mine non è altro che la risoluzione di una quistione di lavoro meccanico, perocchè a conoscere la carica C basterà calcolare i lavori t , t' e t'' , i quali, per ottenere una formola più generale, si potranno esprimere in funzione di h , linea di $M. R.$, e di n , numero delle volte che il raggio della luce del cono d'esplosione contiene la linea di $M. R.$ Inoltre si faranno entrare nei calcoli le costanti relative alla densità ed alla coesione delle terre, e si supporrà la carica composta di tre parti distinte operanti successivamente, cioè:

1.° Carica della fumata massima

$$C' = Q t$$

2.° Carica necessaria per la formazione dell'imbuto

$$C'' = Q t'$$

3.° Carica consumata nel proiettare le terre

$$C''' = Q t''$$

Dimodochè l'espressione generale della carica necessaria per produrre un imbuto qualunque sarà:

$$(B) \quad C = C' + C'' + C'''$$

Lavoro prodotto per formare la sfera di compressione nella fumata massima. — Supponiamo che la carica della fumata massima sia una sfera di raggio x e della quale si conosce il volume V si avrà :

$$(1) \quad F = \frac{4}{3} \pi x^3$$

dalla quale

$$(2) \quad x = \sqrt[3]{\frac{3 V}{4 \pi}}$$

Si avrà egualmente per la superficie di questa sfera

$$4 \pi x^2$$

Chiamiamo b la pressione per $m. q.$ che sviluppano i gas al momento dell' esplosione della carica. La pressione sviluppata alla superficie della sfera sarà :

$$4 \pi b x^2$$

Per un accrescimento dx del raggio , il lavoro elementare prodotto dai gas avrà per espressione

$$4 \pi b x^2 dx$$

e il lavoro totale si otterrà integrando tra i limiti : raggio della carica ($x = r$) e raggio della sfera di compressione ($x = \rho$). Verrà :

$$t = \int_r^\rho 4 \pi b x^2 dx = \frac{4}{3} \pi b (\rho^3 - r^3)$$

Il raggio r può essere dato dall' equazione (2), il lavoro t può invece essere fornito dall' esperienza ; dimodochè tutto es-

sendo cognito si potrà avere il raggio della sfera di compressione.

Chiamando G il coefficiente, pel quale si deve moltiplicare il cubo della linea di $M. R.$ per avere il lavoro prodotto nella fumata massima, si avrà:

$$t = G h^3$$

Ma si sa che la carica di un fornello è eguale al lavoro a prodursi moltiplicato per l'equivalente meccanico della polvere, quindi si troverà:

$$C' = Q t$$

$$t = G h^3$$

$$C' = Q G h^3$$

Siccome C' , Q e h si possono avere sperimentando sopra di un fornello che dia una fumata massima, si avrà per un tereno qualunque

$$G = \frac{C'}{Q h^3}$$

Lavoro consumato per disgregare il mezzo secondo le pareti dell'imbuto. — Abbiamo già veduto che l'imbuto formato da una mina ha forma di paraboloide di rivoluzione. L'equazione generale della parabola generatrice riferita al suo fuoco ed al suo asse sarà:

$$(1) \quad y^2 = 2 p x$$

nella quale facendo $y = nh$ e $x = h + \frac{1}{2} p$ si ricava pel valore del semi-parametro p ,

$$p = h \left(\sqrt{n^2 + 1} - 1 \right)$$

Differenziando l' equazione (1) si avrà :

$$dx = \frac{y dy}{p}$$

Ora l' elemento dell' arco ha per espressione :

$$ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$$

e sostituendo ,

$$ds = \frac{dy}{p} \sqrt{y^2 + p^2}$$

In una superficie di rivoluzione , la superficie di una zona di altezza ds è eguale alla circonferenza media moltiplicata per ds , cioè

$$2 \pi y ds$$

oppure sostituendo ,

$$2 \pi \frac{y dy}{p} \sqrt{y^2 + p^2}$$

Diciamo ora a il coefficiente di resistenza per $m. q.$ che la coesione oppone al lavoro di disgregazione dei gas; allora la resistenza che presenta la zona di altezza ds sarà evidentemente

$$2 \pi a \frac{y dy}{p} \sqrt{y^2 + p^2}$$

Il lavoro di questa resistenza si otterrà moltiplicando per lo spazio ds che le melocole devono percorrere per vincere

la coesione. Chiamando $d't'$ il lavoro elementare e ponendo per ds il suo valore trovato, avremo :

$$d t = 2 \pi a \frac{y dy}{p} \sqrt{y^2 + p^2} \times \frac{dy}{p} \sqrt{y^2 + p^2}$$

che, riducendo, viene

$$d' t = 2 \pi a \frac{y^2 dy^2}{p^2} + 2 \pi a y dy^2$$

Il lavoro prodotto sulla superficie del paraboloido formante l'imbuto sarà l'integrale doppio di quest' ultima espressione preso da $y = 0$ ad $y = nh$ raggio superiore dell' imbuto.

Per una prima integrazione si avrà:

$$dt = \int 2 \pi a \frac{y^2 dy^2}{p^2} + \int 2 \pi a y dy^2$$

$$dt = \frac{2 \pi a y^2 dy^2}{4 p} + \frac{2 \pi a y^3 dy^2}{2}$$

$$dt = \frac{\pi a y^2 dy^2}{2 p^2} + \pi a y^3 dy^2$$

Integrando di nuovo :

$$t = \int \frac{\pi a y^2 dy^2}{2 p^2} + \int \pi a y^3 dy^2$$

$$t = \frac{\pi a y^4}{10 p^2} + \frac{\pi a y^4}{3}$$

non si ha costante perchè quando $y = 0$ è $t' = 0$. —

Ponendo per y il suo valore $n h$, e per p il valore del semi-parametro della parabola generatrice, si avrà :

$$t' = \frac{\pi a n^3 h^3}{10(\sqrt{n^2 + 1} - 1)^2 h^3} + \frac{\pi a n^3 h^3}{3}$$

$$t' = \pi a h^3 \left\{ \frac{n^3}{10(\sqrt{n^2 + 1} - 1)^2} + \frac{n^3}{3} \right\}$$

Lavoro per la proiezione delle terre dell'imbuto.

— Per ottenere il lavoro t' risultante dalla proiezione delle terre con una velocità iniziale v , bisogna prendere la metà della forza viva acquistata al momento in cui il peso di terra P ha ricevuto la velocità v . Si avrà dunque :

$$t' = \frac{1}{2} \frac{P}{g} v^2$$

Osservando che $v^2 = 2 g H$, e che H rappresenta l'altezza della proiezione in funzione della velocità iniziale, verrà :

$$t' = P H$$

Il valore di P è uguale al volume V dell'imbuto moltiplicato per il peso specifico γ delle terre che si considerano. Ora il volume del paraboloido è uguale alla metà di quello di un cilindro di medesima base e di medesima altezza, cioè :

$$V = \frac{1}{2} \pi y x$$

Ma $y = n h$ e $x = h + \frac{1}{2} p$; quindi sostituendo :

$$V = \frac{1}{2} \pi n^3 h^3 \left(\frac{h}{2} \sqrt{n^2 + 1} + \frac{h}{2} \right)$$

$$= \frac{1}{4} \pi n h \left(1 + \sqrt{n^2 + 1} \right)$$

Moltiplicando V per φ peso di un $m. c.$ di terra, si avrà:

$$P = \frac{\pi \varphi n^3 h^3}{4} \left(1 + \sqrt{n^2 + 1} \right)$$

e per ottenere il valore di t' si dovrà moltiplicare P per l'altezza alla quale si eleva il centro di gravità.

Qui si presenta un fatto di osservazione, ed è, che l'altezza di proiezione cresce con la grandezza della base superiore dell'imbuto; ma questa base essendo espressa per n e supponendo rappresenti H l'altezza di proiezione nel caso di $n = 1$ (fornello ordinario), si avrà che $n H$ rappresenta quell'altezza per un imbuto qualunque. Dimodochè per $n = 0$ non si avrà proiezione di terra, cioè si sarà nel caso della fumata massima.

Moltiplicando dunque il valore di P per $n H$ avremo il lavoro necessario per la proiezione delle terre dell'imbuto, cioè:

$$t'' = \frac{\pi \varphi H n^3 h^3}{4} \left(1 + \sqrt{n^2 + 1} \right)$$

Formola generale della carica. — Ottenuti i diversi lavori che occorrono per avere gli effetti generali di una mina qualunque, sostituendoli nella (A) si otterrà il valore generale della carica t cioè:

$$C = Q \left\{ \begin{array}{l} G h^3 + \\ + \pi a h^3 n^3 \left\{ \frac{n}{10 (\sqrt{n^2 + 1} - 1)} + \frac{1}{3} \right\} + \\ + \frac{\pi \varphi H h^3 n^3 (1 + \sqrt{n^2 + 1})}{4} \end{array} \right\}$$

Dividendo per h^3 si ha:

$$\frac{C}{h^3} = Q G + Q \pi a \left\{ \frac{n^3}{10 (\sqrt{n^2 + 1} - 1)} + \frac{n^3}{3} \right\} + \frac{Q \pi \varphi H}{4} n^3$$

$$\left(1 + \sqrt{n^2 + 1} \right)$$

Si potrà porre:

$$\left\{ \frac{n^3}{10 (V_{n^3+1} - 1)^2} + \frac{n^3}{3} \right\} = F(n)$$

$$n^3 (1 + V_{n^3+1}) = f(n)$$

e quindi la formola generale che dà la carica C di una mina qualunque sarà

$$(B) \quad \frac{C}{h^3} = Q G + Q \pi a F(n) + \frac{Q \pi \varphi H}{h^3} f(n)$$

Prima di passare all'applicazione di questa formola ai casi che ordinariamente s'incontrano nella pratica delle cave, accennerò che nel caso di mine in terre ordinarie, che è uno di quelli in cui possono sussistere tutti tre i termini del secondo membro, se si cercano i valori di G , a , φ e H che ad esse convengono, allora la formola della carica viene

$$\frac{C}{h^3} = 0,28 + 0,942 F(n) + 0,151 f(n)$$

I valori delle due funzioni di n si potranno calcolare, ed eccone alcuni nella seguente tavola

A	B	C	D	E	F
Valori di					
n	$F(n)$	$0,942 F(n)$	$f(n)$	$0,151 f(n)$	$\frac{C}{h^3}$
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,280
0,5	0,2664	0,2509	0,2647	0,0397	0,571
1,0	0,9167	0,8635	2,4142	0,3621	1,506
1,5	2,3017	2,1682	9,4601	1,4190	3,867
2,0	4,7523	4,4766	25,8880	3,8832	8,640
2,5	8,6094	8,1101	57,7031	8,6555	17,046
3,0	14,1210	13,3019	112,3740	16,9684	30,550

Da questa tavola si avrà la carica di un fornello qualunque, moltiplicando il cubo della linea di *M. R.* per il numero della colonna *F* corrispondente al valore di *n* che si considera,

Colle formole precedenti si potrà pure calcolare la seguente tavola nella quale si hanno i volumi degli imbuto, e i volumi ed i pesi delle cariche in funzione della linea di *M. R.* per alcuni valori di *n*.

Valori di <i>n</i>	Volume dell' imbuto in M. C.	Volume della carica in M. C.	Peso della carica in Chil
0,00	0,0000	0,000308 <i>h</i> ³	0,280 <i>h</i> ³
0,50	0,416 <i>h</i> ³	0,000628 <i>h</i> ³	0,571 <i>h</i> ³
1,00	1,896 <i>h</i> ³	0,001656 <i>h</i> ³	1,506 <i>h</i> ³
1,50	4,951 <i>h</i> ³	0,004254 <i>h</i> ³	3,867 <i>h</i> ³
2,00	10,161 <i>h</i> ³	0,009504 <i>h</i> ³	8,640 <i>h</i> ³
2,50	18,118 <i>h</i> ³	0,018751 <i>h</i> ³	17,046 <i>h</i> ³
3,00	29,406 <i>h</i> ³	0,033605 <i>h</i> ³	30,550 <i>h</i> ³

Applicazione della teoria generale ai fornelli de-

molitori. — Nella teoria si sono considerati fornelli qualunque produttori i tre effetti generali già accennati. Ma vi sono casi in cui si richiede che una mina non li produca tutti, come avviene per le cave di materiali da costruzione nelle quali basta che la mina scuota la massa e la rompa senza proiettarla. Quindi noi intenderemo per fornelli demolitori tutti quei fornelli che hanno per oggetto di distrurre metodicamente e ad uno scopo determinato dei materiali da costruzione. In questi si dovrà distinguere il mezzo omogeneo e il mezzo eterogeneo, secondochè la carica giuocherà tutta intera o in parte nel mezzo a demolirsi. Si avrà il caso del mezzo omogeneo, per *es.*, quando la carica si fa nell' interno di una roccia o di un muro; e si avrà il caso del mezzo eterogeneo quando la carica si pone, per *es.*, al fondo del mare per distrurre un banco od accanto ad un muro per abbatteirlo,

Il mezzo poi potrà essere compressibile ed incompressibile; così si ha un mezzo omogeneo e compressibile nel caso di una carica nell' acqua ad una certa altezza dal fondo, e un mezzo

omogeneo ed incompressibile nel caso di una mina in roccia compatta.

Vogliono farsi queste distinzioni perchè non solamente si devono cangiare nella formola generale della carica i coefficienti relativi alla resistenza dei diversi mezzi, ma bisogna inoltre osservare la variazione del lavoro utile della polvere, il cui equivalente meccanico è una funzione del modo di resistenza del mezzo, nel quale la carica lavora. Io darò solo un cenno dell'applicazione della teoria all'ultimo caso, che è quello delle cave di pietre da costruzione.

Formole generali nel caso del mezzo omogeneo ed incompressibile. — Abbiamo veduto che la formola generale che dà la carica di un fornello qualunque è

$$C = Q (t + t' + t'')$$

Ora nel caso del mezzo incompressibile, non si avrà formazione della sfera di compressione, e quindi sarà zero il lavoro corrispondente, cioè si dovrà fare

$$t = 0$$

Così pure nel caso delle mine di demolizione non si dovranno proiettare i materiali disgregati, ma basterà solo spolarli d'alquanto per meglio rompere la coesione delle masse. Allora il lavoro t'' non sarà zero, ma però vedremo che si può trascurare anch'esso, e quindi facciamo pure

$$t'' = 0$$

Allora l'espressione della carica nel caso dei fornelli di demolizione sarà ;

$$C = k Q t \quad (C)$$

nella quale invece di Q si pose $k Q$, perchè l'equivalente meccanico della polvere dev' essere determinato sperimentalmente per le diverse specie di materiali a demolirsi.

Calcolo del lavoro da prodursi nelle mine di demolizione. — Per applicare la formola (C) bisogna calcolare

il valore t' del lavoro meccanico utile che deve fare il fornello. Questo lavoro consiste, come abbiamo già detto, nel rompere la coesione degli elementi della massa a demolirsi. Si rompe la coesione per istrappamento, per schiacciamento, per torsione, per allungamento, ecc. Ma nelle demolizioni i modi di disgregare più frequenti sono lo strappamento e lo schiacciamento, e si ammette che la resistenza per metro quadrato e per ciascun corpo è la stessa qualunque sia il modo di disgregamento, quando il lavoro si effettua in materiali a struttura granulare. Pei corpi fibrosi non è più così; ma in generale le mine di demolizione si danno in materiali della prima struttura.

Allorquando una carica agisce in un mezzo omogeneo, l'esplosione dà origine a differenti effetti secondo la posizione delle parti che presentano minore resistenza. Sotto questo aspetto si può distinguere:

1.° Una sola linea di $M. R.$ che dà luogo ad un cono d' esplosione.

2.° Due linee di $M. R.$ che danno luogo a due coni opposti pei loro vertici.

3.° Una superficie di $M. R.$ che risulta dall' esistenza di più linee di $M. R.$ per le quali si può sempre far passare la superficie secondo la quale si produrrà la disgregazione.

Questi diversi casi danno diversi valori pei lavori da prodursi con la carica; cerchiamoli.

1.° *Una sola linea di $M. R.$* Nei materiali incompressibili, a struttura granulare o cristallina, a frattura concoide, l' imbutto prodotto dall' esplosione di una carica di polvere si riduce ad un cono d' esplosione più o meno regolare, cono che è accompagnato da fenditure e crepature.

Affine di determinare il lavoro necessario per distaccare il cono d' esplosione, consideriamo la linea di $M. R.$ come l' asse delle x , e conduciamo, per il centro della carica, l' asse delle y perpendicolarmente al primo asse.

La generatrice del cono avrà per equazione :

$$y = n x$$

che dà, differenziando,

$$dx = \frac{dy}{n}$$

(3)

La superficie convessa di una zona conica di larghezza ds sarà

$$2 \pi y ds$$

Ma ds è l'elemento di una generatrice per la quale si ha

$$ds = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$$

nella quale per dx sostituendo il suo valore

$$ds = \frac{dy}{n} \sqrt{n^2 + 1}$$

Sostituendo, la superficie convessa della zona conica verrà :

$$2 \pi \frac{y dy}{n} \sqrt{n^2 + 1}$$

Diciamo a la resistenza per metro quadrato che il mezzo oppone alla rottura ; la resistenza sulla superficie elementare sarà :

$$2 \pi a \frac{y dy}{n} \sqrt{n^2 + 1}$$

Il lavoro di questa resistenza, si otterrà moltiplicandola per lo spazio ds che basta a vincere la coesione. Si avrà pel lavoro elementare :

$$2 \pi a (n^2 + 1) \frac{y dy^2}{n^2}$$

Il lavoro sulla superficie intiera del cono sarà l'integrale doppio preso da $y = 0$ a $y = nh$. Si avrà dunque :

$$t = 2 \pi a \frac{n^2 + 1}{n^2} \int \int y dy^2$$

$$t = \pi a \frac{n^2 + 1}{3 n^2} y^3$$

oppure essendo $y = nh$,

$$t = \pi a' \frac{n^3 + 1}{3 n^3} n^2 h^3$$

$$t' = \frac{\pi a n (n^3 + 1) h^3}{3}$$

Osserviamo dapprima che il cono d' esplosione non è mai completo, attesochè il vertice si trova nella camera della polvere; in seguito che nei fornelli di demolizione n essendo ordinariamente maggiore dell' unità, si potrà prendere n^3 in luogo di $n^3 + 1$ affine di compensare l' errore commesso prendendo il cono intero per calcolare il lavoro; e infine che la forma irregolare dell' imbuto permette di fare $\pi = 3$, e di cancellare il fattore comune nell' ultima espressione del lavoro. Se noi operiamo questo cangiamento, che la pratica autorizza, si otterrà pel valore del lavoro effettuato nella formazione dell' imbuto conico,

$$t' = a n^3 h^3$$

e questo è il lavoro nel caso di una sola linea di *M. R.*, cioè di un solo cono di esplosione.

2.^o *Due linee di M. R.* Due linee di *M. R.* si hanno quando una carica di polvere si trova per es. posta tra le due faccie di un muro. Abbassando dal centro una perpendicolare sopra ciascuna faccia, si otterranno le due linee di *M. R.* e l' esplosione potrà produrre due coni, i quali, dietro l' esperienza, si può ammettere che per certi limiti d' elasticità dei materiali, e per certe aperture comuni, abbiano superficie convesse equivalenti e quindi si debbano fare lavori eguali per distaccarli.

Ora nel 1.^o caso di una sola linea di *M. R.* si è trovato che il lavoro necessario per produrre il cono d' esplosione è eguale al cubo del raggio della base moltiplicato pel coefficiente di rottura. Quindi noi avremo pei due coni opposti al vertice aventi linee di *M. R.* ed aperture differenti

$$t' = a n^3 h^3$$

$$t' = a n'^3 h'^3$$

i moltiplicando questi due valori di t' si troverà :

$$a n^3 h^3 = a n'^3 h'^3$$

$$n h = n' h'$$

$$\frac{h}{h'} = \frac{n'}{n}$$

Vale a dire che le aperture dei coni sono inversamente proporzionali alle distanze dal centro della carica a ciascuna delle faccie dei muri.

3. *Una superficie di M. R.* — Quando la massa che si vuole rompere o spaccare presenta un gran numero di linee di *M. R.*, queste possono essere considerate come lati di una piramide o di una superficie conica che ha per vertice il centro delle polveri. Questa superficie di *M. R.* sarà evidentemente la superficie secondo la quale si deve produrre la rottura.

Consideriamo una massa cilindrica a base circolare e di un' altezza sufficiente perchè, la carica essendo posta in un punto dell' asse, la superficie di *M. R.* sia una sezione del cilindro. La superficie di rottura sarà dunque un circolo passante pel centro della carica.

Per determinare il lavoro prodotto dalla resistenza allo strapamento sopra la superficie del circolo di raggio r , sia dx un elemento del raggio posto alla distanza x dal centro. La superficie generata nella rivoluzione dell' elemento dx sarà:

$$2 \pi x dx$$

La resistenza secondo questa superficie avrà per espressione :

$$2 \pi a x dx$$

Per rompere la coesione, basta che questa resistenza percorra un piccolo spazio dx . Il lavoro elementare sarà dunque

$$2 \pi a x dx^2$$

Il lavoro sul circolo intero si otterrà integrando l' ultima espressione tra i limiti $x = 0$ e $x = r$ Verrà

$$l = \int \int 2 \pi a x dx$$

$$l = \int \pi a x_1 ds$$

$$l = \frac{\pi a r^3}{3}$$

Se si vuole il lavoro corrispondente all' unità di superficie basterà sostituire per r il valore del raggio di un circolo che sia di superficie 1 *m. q.* Avremo:

$$\pi r^2 = 1 \quad , \quad r^2 = \frac{1}{\pi}$$

$$r = \frac{1}{\sqrt{\pi}} = 0, 564$$

e sostituendo verrà

$$l = \frac{\pi a (0, 564)^3}{3}$$

$$l = 0, 188 a$$

Quindi, conoscendo la superficie di *M. R.*, si avrà il lavoro da prodursi per la rottura, moltiplicando questa superficie per 0, 188 *a.*

Lavoro prodotto per lo spostamento delle masse disgregate. — Dimostriamo ora che il lavoro da farsi per ispostare d'alquanto i materiali, acciocchè meglio risultino disgregati, è trascurabile, essendo assai piccolo lo spazio percorso.

Infatti supponiamo che la massa parziale da staccare pesi 100,000 chilogrammi. Per rompere la coesione lo spazio da farle percorrere è infinitamente piccolo; ma per produrre una fenditura secondo la superficie di rottura, supporremo che il distacco

necessario debba presentare una larghezza di 1 centimetro circa. Il lavoro dello spostamento sarà 1000 chilogrammetri.

Ora per un chg.^{tro}. abbisognano chg. 0,00003 di polvere nelle terre ordinarie, quindi ne abbisogneranno 30 grammi per spostare di 0^u,01 i 100000 chg. supposti liberi. Ma in realtà questa massa non è libera, dacchè riposa sul suolo ed è incastrata alla massa totale; dimodochè si dovrà tener conto delle resistenze passive.

Ad avere un' idea della carica necessaria per un lavoro qualunque, giovi il seguente quadro di cariche in terre ordinarie supponendo lo spostamento di 0^u,01 :

Peso da spostarsi in chg.	Lavoro necessario in chg. ^{ri}	Carica di polvere in chg.
100	1	0,00003
1000	10	0,0003
10000	100	0,003
100000	1000	0,03
1000000	10000	0,3
10000000	100000	3, chg.
100000000	1000000	30
1000000000	10000000	300
10000000000	100000000	3000

Questa tavola fa vedere che una resistenza di 1,000,000 di chilogrammi percorrenti un piccolo spazio di 1 centimetro non produce che 10000' chilogrammetri, e la carica necessaria allo spostamento non sarebbe che di 300 grammi di polvere. Ora siccome la carica dei fornelli di demolizione è generalmente grande, si potrà trascurare la parte di carica necessaria per lo spostamento dei materiali, se il cammino percorso è piccolissimo.

Del resto, si sa che il lavoro prodotto per la rottura sopra d'una superficie di un *m. q.* ha per espressione

$$l' = 0,188 a$$

e che i valori di *a* per i diversi materiali possono variare da 7500 a 600 000 secondo la loro natura e qualità. Per conseguenza il valore di *l'* sarà compreso tra 1410 chg.^{tri} e 112 800

chg.^{ri} per *m. q.* di rottura. Da queste cifre è facile il convincersi che i valori di *t'* saranno sempre trascurabili quando non si avrà uno spostamento considerevole, come precisamente accade per le mine da demolizione.

Applicazioni. — Per mezzo delle formole ora trovate, cerchiamo la carica di una mina posta in un dato mezzo da demolirsi, in funzione della linea di *M. R.*

Abbiamo trovato

$$C = k Q t'$$

$$t' = a n^2 h$$

nel caso che si abbia una sola linea di *M. R.*

Sostituendo verrà:

$$C = k Q a n^2 h^3$$

Facciamo ora

$Q = 0, \text{chg. } 00003$ per la polvere ordinaria,

$k = 0, 50$ per il caso in cui non si abbia perdita di gas, supponendo cioè ben fatta la intasatura.

$n = 1$ per ottenere il raggio dell' imbuto eguale alla linea di *M. R.*

$a = 33000 \text{chg.}$ per resistenza alla rottura del mezzo.

Sostituendo questi valori particolari verrà

$$C = 0,50 \times 0,00003 \times 33000 h^3$$

$$C = 0,495 h^3$$

Questa formola si avvicina molto a quella del generale Burgoine

$$C = \frac{1}{2} h^3$$

che viene adoperata nelle cave; in questa, *c* sono grammi e *h* decimetri.

Cerchiamo ora la carica in funzione della superficie da disgregarsi.

Abbiamo trovato nel caso della superficie di *M. R.* che

$$t' = 0,188 a$$

per ogni m g. Per N m. g. sarà

$$t = 0,188 N a$$

Sostituendo verrà

$$C = k Q \times 0,188 \times N a$$

oppure

$$C = 0,50 \times 0,00003 \times 0,188 N \times 33000$$

$$C = 0,103 N$$

cioè per disgregare un m . g. abbisognerebbero circa 100 grammi di polvere, oppure che la carica contiene tanti da un ettogramma quanti sono i m . g. di superficie da disgregarsi.

Abbiamo già detto che per le mine subacquee bisogna applicare la teoria generale considerando un mezzo eterogeneo. In queste gli effetti generali si producono tutti e tre. I gas risultanti dalla combustione della polvere producono dapprima lo sferoide di compressione; spostano in seguito un certo volume di liquido dalla parte della minore resistenza; ed infine proiettano, con più o meno velocità, il volume d'acqua spostato.

Per calcolare l'effetto utile di una carica immersa bisogna distinguere due casi, cioè: 1.° La carica direttamente in contatto con la massa a distrursi; 2.° La carica a distanza dalla massa a distrursi.

Applicando a questi due casi la teoria generale si trovano le formole che danno la carica.

Ma io non procederò più oltre nelle applicazioni di questa teoria, perchè credo che i cenni dati bastino per avere un'idea della medesima, e potrà ricorrere al libro del Cap. Piron chi desideri averne una cognizione più completa.

III.

NUOVI COMPOSTI ESPLOSIVI

Mentre così grandi progressi le diverse parti dell' arte del minatore hanno fatto nei tempi moderni, la polvere pirica solo ha, come ho già detto, conservata la forma e gli elementi ch' essa avea ricevuti, si può dire, fin dalla prima sua comparsa in Europa. Vi furono scienziati che studiarono sopra i suoi componenti e sulle migliori proporzioni di essi, come sarebbero il Proust, il Guitton-Morveau, il Dumas, il Beaumé e l' Essonne, ma poi si ritornò sempre agli antichi metodi.

Senonchè il bisogno di una forza espansiva nuova, di un agente più attivo della polvere, continuando sempre più a farsi sentire per le grandi proporzioni che da qualche tempo hanno prese i lavori pubblici, eccitò i chimici e gl' industriali a porsi di nuovo allo studio, e si riuscì così alla scoperta di molte sostanze esplosive che utilmente si possono sostituire alla polvere.

Fra queste le più importanti sono certamente il fulmicotone, la nitroglicerina, la dinamite, la polvere al picrato di potassio, e la polvere compressa. La quale ultima se non è nuova quanto alla sostanza, è nuova per le operazioni a cui si assoggetta onde renderla più attiva.

Fulmicotone. — Il cotone fulminante fu scoperto dal dottor Schoenbein, e si ottiene trattando il cotone con un miscuglio di acido solforico e nitrico concentrati. Il cotone ado-

perato dev' essere privo di tutte le impurità organiche che contiene quello commerciale, e ciò perchè non venga in seguito menomata la sua stabilità. (*)

Il punto d'accensione del fulmicotone è a 136°, e ciò sembra costituire a prima vista un forte difetto paragonandolo alla polvere ordinaria, ma è compensato dall'impossibilità quasi assoluta di esplodere durante il corso della fabbricazione, eccetto nell'operazione finale dell' essiccarlo.

Il fulmicotone non è deteriorato dall'acqua, anzi questa agisce come un eccellente protettore, e quindi gli approvvigionamenti possono essere conservati sotto la medesima per operarne l'essiccazione a misura dei bisogni.

Si credeva dapprima che condizione essenziale da soddisfarsi per avere dal fulmicotone il più grande effetto, fosse il chiuderlo esattamente nella camera che lo contiene (**). Ma ora, dietro le recentissime esperienze dell' Abel, resta dimostrato il contrario, che cioè si può avere dal fulmicotone un grande effetto anche quando si fa esplodere all'aria libera. Per aver ciò basta variare il modo d'accensione che prima si adoperava, cioè bisogna accendere il fulmicotone per mezzo della detonazione di un altro composto esplosivo. Dalle esperienze fatte risulta che l'esplosione del fulmicotone avviene per le vibrazioni che tendono a prodursi in esso quando detona un corpo postogli in prossimità, e non per la temperatura che sviluppa questo corpo (***). Quindi applicando ciò si trovò che con cariche di cotone in fori da mina e accese per mezzo di miccie detonanti poste sia nell'interno delle cariche, sia al disopra di esse, si ottengono dei grandissimi effetti di rottura e di strappamento, anche quando i fori delle mine restano aperti o sono solamente riempiti di sabbia o di terra senza essere calcata. Mentre invece, se si accendono con miccie ordinarie le stesse mine bene intasate, si hanno risultati relativamente minori. Quindi accendendo il fulmicotone per detonazione si

(*) V. *Bulletin de la société chimique de Paris*, 1867.

(**) V. *Répertoire de chimie* — 1865.

(***) V. *Revue hebdomadaire de chimie*. — Paris, septembr. 1869.

può sopprimere completamente la intasatura dei fori da mina, che è l'operazione più pericolosa del minatore.

Parimente, in grazia di questo metodo di accensione, non è più necessario, per operare sott'acqua, di rinchiudere le cariche delle materie esplosibili in recipienti metallici resistenti, come si fu obbligati di fare sino al presente per assicurare lo sviluppo della forza esplosiva; basta rinchiuderle solo in sacchi impermeabili per avere un effetto distruttivo molto più considerevole.

Nitroglicerina e Dinamite. — La nitroglicerina è una combinazione chimica proveniente dalla reazione dell'acido azotico sulla glicerina, che possiede proprietà esplosive di una prodigiosa potenza.

È un liquido oleoso, giallo o bruno, più denso dell'acqua, insolubile in questo liquido e solubile nell'alcool e nell'etere. La sua detonazione può avvenire per un aumento di temperatura, come per un colpo violento o per l'esplosione di un'altra materia fulminante che le sia in contatto o vicina.

Il prezzo della nitroglicerina è maggiore di quello della polvere ordinaria, ma la sua forza è da 9 a 10 volte maggiore di essa, quindi si può dire che l'adoperarla nelle cave porta un'economia del 50 per 0/0.

Il primo che abbia pensato ad applicarla nell'arte del minatore fu l'ingegnere svedese Nobel: a lui non è tuttavia dovuta la scoperta di questa sostanza, ma sì al distinto Chimico il prof. Ascanio Sobrero, che primo la ottenne nel 1847 nel laboratorio del signor Pelouze a Parigi, trattando la glicerina con un miscuglio di acido nitrico e solforico. (*)

Molte esperienze per l'applicazione della nitroglicerina alle mine si sono fatte in Germania, e i tentativi riuscirono tanto sotto il rapporto della economia come sotto quello della facilità e della rapidità del lavoro.

Ecco il modo di adoperarla. Si versa nel foro da mina già preparato la quantità di nitroglicerina necessaria per fare il lavoro che si desidera; vi si fa in seguito discendere un piccolo

(*) *Répertoire de Chimie*. 1860 e *Figures* 1866.

cilindro di legno o di cartone di circa 5 o 6 centimetri di altezza, riempito di polvere ordinaria; a questo cilindro è fissata una miccia, che vi penetra fino ad una certa profondità per assicurarsi dell'accensione della polvere. Si versa in seguito della sabbia nel foro da mina fino a che non sia riempito e si dà fuoco alla miccia. Poco dopo la polvere s'infiamma e ne risulta un colpo violento, che fa detonare la nitroglicerina, e l'esplosione è così istantanea, che la sabbia non è nemmeno proiettata.

Tuttavia la nitroglicerina, in ragione medesima delle sue proprietà esplosive, è una sostanza eminentemente pericolosa. Le disgrazie successe in America ad Aspiuwall e a San Francisco, ed in Europa a Quénost (Belgio), dimostrarono sufficientemente che il trasporto di questa sostanza, sia per mare sia per terra, offre dei grandi rischi d'esplosione, sicchè vi furono governi che ne proscrissero l'impiego.

Allora l'ing. Nobel pensò a renderla innocua conservandole tuttavia le sue proprietà balistiche. Vi riuscì dapprima mescolandola con alcoole metilico o spirito di legno, ed ebbe un liquido inesplosibile, sia alla percussione, sia al calore. Si riaveva il liquido fulminante aggiungendo acqua, per cui esso discendeva al fondo del vaso, da cui si ritrava per mezzo di un sifone.

Nuovi studi però lo portarono alla preparazione della *Dynamite*, miscuglio di nitroglicerina con fina sabbia silicea, che non la cede per nulla in potenza alla nitroglicerina, ma che è completamente innocua nelle particolari condizioni in cui la si adopera, come sembrano avere posto fuor di dubbio gli esperimenti fatti (*).

La dinamite consta di 75 per 0,0 di nitroglicerina e 25 per 0,0 di silice; quindi eguali pesi di dinamite e di nitroglicerina certamente non possiedono la stessa potenza, perocchè, a cagione della sua composizione, la dinamite non ha che $\frac{3}{4}$ della forza esplosiva della nitroglicerina. In pratica però ciò riesce di poco svantaggio essendo facile far capire nello stesso foro una quan-

(*) V. *Le technology etc*, t. 6).

tità di dinamite equivalente ad un dato peso di nitroglicerina pura, non essendo necessario adoperare cartuccia od altri involucri, i quali occuperebbero una porzione dello spazio destinato a contenere la carica.

Quasi tutti gli accidenti che sono stati causati dalla nitroglicerina si può dire essere dovuti a fughe, che per ragioni pratiche è difficile il prevenire e che si possono attribuire al suo stato liquido. Ora la dinamite essendo allo stato solido non potrà dar luogo a perdite e quindi a disgrazie.

Ma indipendentemente dalla sicurezza, la dinamite ha, sopra la nitroglicerina, altri vantaggi speciali.

Il fuoco l'abbrucia senza farla detonare (*), ed essendo poco sensibile agli urti, si può facilmente trasportare e conservare in magazzino.

Inoltre è naturale che i minatori preferiscano, come più pratica, una materia esplosiva solida ad una liquida.

Essa, in giornata, si adopera senza far uso d'intasatura, come la nitroglicerina, e per conseguenza si fanno sparire un gran numero di piccole disgrazie che sono troppo frequenti nella pratica delle mine.

Si è detto che i prodotti dell'esplosione della dinamite sieno di natura nociva, ma l'uso che se ne fa nei lavori sotterranei dimostra che i minatori non ne sentono alcuna pena.

Lo stesso però non si potrebbe dire della nitroglicerina pura, la quale entrando certe volte nelle crepature senza detonare, si disperde poi nell'atmosfera, ed è causa di violento mal di capo.

Recentemente venne sperimentata una miscela di nitroglicerina e di polvere ordinaria, la cosiddetta *dualina* (**), la quale vuolsi abbia raggiunto a Kiel considerevoli risultati. Di questa sostanza si parla nel Dizionario tecnico del Muspratt ma non si hanno ancora precise notizie intorno alla sua azione.

Abel ha pure proposto di imbevver di nitroglicerina il fulmicotone per aumentarne così il potere esplosivo (***) .

(*) V. *Le technologiste*, 1869.

(**) V. *Rivista marittima italiana*, Ottobre 86.

(***) V. *Le technologist*, Janvier 1869.

Polvere al picrato potassico. — Trattando acido fenico (uno dei prodotti della distillazione secca del litantrace) con 8 o 10 volte il suo peso di acido azotico si ha acqua e acido picrico, quello stesso che nel 1788 venne primieramente ottenuto da Michele Hausmann trattando l'indaco coll' acido azotico, e che il Walter ottenne dalla seta.

Quest' acido portato bruscamente al calor rosso si decompone e detuona, e quindi niuna meraviglia che al Walter medesimo, già fino dai suoi tempi, si affacciasse l' idea potersi l' acido picrico usufruire come ingrediente delle polveri da guerra, le quali a dir vero sarebbero costate assai care se l' acido picrico non avesse potuto essere preparato altrimenti.

Combinato con ossidi metallici forma corpi pure esplosivi, e fra questi il picrato di potassio che è ora il più adoperato nella fabbricazione delle polveri.

Esso è in cristalli di un bel color d' oro se lasciato cristallizzare lentamente; portato alla temperatura di 310° o 320° detuona fortemente; s' infiamma pure e detuona, se tocco da un corpo acceso (*), lasciando un residuo considerevole di carbone. Gode però la preziosa prerogativa di non detuonare sotto un urto violento, una forte percossa.

La potenza esplosiva del picrato di potassio può divenire decupla all' incirca di quella della polvere nera, se gli si mescola assieme un corpo che possa furnirgli abbonante ossigeno. Ciò fece il Designolle, ma siccome la polvere che ne risultava avea una forza superlativa, cercò di attenuarla coll' addizione di determinata quantità di carbone. Quindi le polveri ch' egli attualmente, fabbrica al polverificio di Bouchat non differiscono dall' ordinaria, se non perciò che, soppresso lo solfo, vi si è sostituito il picrato di potassio.

Queste polveri, oltre la maggior forza esplosiva, hanno sulle altre il vantaggio di non dare che un leggerissimo fumo, o meglio una nubecola di vapor acqueo che tosto si dissipa, e di poter essere fabbricate allo stesso modo e cogli stessi meccanismi che servono alla fabbricazione della polvere ordinaria.

(*) Credesi sia dovuta a questa sua proprietà la tremenda catastrofe avvenuta l' anno scorso a Parigi nell' officina del signor Fontaine.

In questi ultimi anni dalla Commissione d'Artiglieria presso il 1.^o Dipartimento Marittimo (Genova), vennero studiate diverse polveri fulminanti specialmente destinate alla preparazione delle torpedini. Fra queste merita particolare menzione la polvere a base di nitrato e picrato potassico del Ch.^{mo} prof. G. N. Gardella, siccome quella che ad un tempo è più sicura di tutte le altre nella preparazione e nel maneggiarla, e non meno energica per ciò che riguarda la forza rompente.

Per fabbricarla non occorre nè triturazione nè polverizzazione: il miscuglio si fa nell'acqua, e per separare la polvere basta la filtrazione. Essa non attira l'umidità anche nell'aria quasi saturata di vapor acqueo, cioè quando l'igrometro di Saussure segna 96.^o È facilmente infiammata dalla scintilla elettrica. La temperatura alla quale s'accende è dai 230° a 235°, cioè alquanto inferiore a quella che richiede la polvere ordinaria; però molto superiore a quella a cui s'infiammano il fulmicotone, i fulminati e le polveri a base di clorato.

Un decigramma di detta polvere, cui si metta fuoco all'aria aperta, produce uno scoppio eguale a quello di un colpo di revolver e non lascia residuo sensibile alla bilancia. L'istantaneità dell'accensione è uguale a quella dei fulminati più pronti, come quello d'argento e di mercurio. La sua forza è dimostrata dalle esperienze uguale a 4 volte e $\frac{1}{2}$ quella della migliore polvere di Fossano; e quando sia perfettamente secca è più di 5 volte. Mista con sabbia silicea, od acido silicico in polvere e strofinata con buon martello sopra l'incudine, non s'accende; sotto una forte percossa non esplose che dopo tre o quattro colpi, e la detonazione è debolissima.

Insomma, sia per la facilità di prepararla, sia per la sicurezza del maneggio, come per la sua grande inalterabilità e per la sua forza rompente, la nuova polvere del prof. Gardella si può giudicare anteposibile ad ogni altra finora stata proposta sia per le mine, sia per le torpedini (*).

(*) Una gran parte dei dati contenuti in questa rapida esposizione l'ho avuti dalla squisita gentilezza dello stesso signor Cav. G. N. Gardella professore di Chimica Farmaceutica nella R. Università di Genova.

Polvere compressa. — L'idea di comprimere la polvere per aumentare gli effetti ch' essa può produrre sotto un peso dato, appartiene ai signori Doremus e Budd di New-York, e si è B. Bianchi che primo fece esperienze per impiegarla nelle mine. La compressione che si fa subire alla polvere ha per effetto di ravvicinare i grani gli uni agli altri, dimodochè quando il fuoco è comunicato, la combustione è più completa, e lo sforzo prodotto per la sua esplosione su di un punto dato è più considerevole. Risulta da ciò che la carica di polvere compressa richiesta a produrre un effetto dato è assai minore della carica di polvere ordinaria.

Le macchine che comprimono la polvere destinata alle mine, la riducono in forma di un cilindro di dimensioni variabili, il quale secondo una sua generatrice ha un piccolo canale che si prolunga pure sulla base secondo un raggio per finire ad un foro secondo l'asse. Questo canale è destinato a contenere la miccia che deve comunicare il fuoco alla carica di polvere compressa.

L'applicazione più importante stata fatta della polvere compressa è al Traforo delle Alpi Cozie.

Si comprime questa a Modane e se ne formano le cartucce, che poi s'impiegano per la carica delle mine in ambi i cantieri. L'avanzamento mensile dei lavori della gran galleria, che era prima di 42.^m raggiunse i 72. " dopo l'adozione di questa polvere. È probabile che, se non tutto, almeno in parte questo accrescimento sia dovuto all'impiego della polvere compressa.

Mi resterebbe ora a parlare del pironome del Reynaud (*), della polvere dell'Ehrhardt, di quella dell'Hahn, di quella a nitrato ammonico e delle polveri bianche di Germania, di cui altre sono una ripresa di tentativi abortiti in Franca nel passato secolo, dell'impiego del clorato potassico, altre sono un succedaneo del pirostile o fulmicotone. Precipue fra le prime quella dell'Augendre e del Pohl, quella dell'Hosly e dell'Hochstader; fra le seconde la polvere dell'Uvathius e quella dello Schultze o prussiana. Ma la ristrettezza dei limiti imposti non mi permette di parlare di tutte queste polveri, alcune delle quali fecero cattiva prova o non furono applicate nelle mine.

(*) V. Figuier. *Annales scientifiques et industrielles*. 1362.

Accensione delle mine colla scintilla elettrica. —

Nello stesso modo che oggigiorno si cerca di sostituire alla ordinaria polvere da mina altre materie di minor prezzo e di maggiore potenza, si studia pure il modo di vantaggiare l'ordinario metodo di accensione, il quale in molti casi non è applicabile e riesce spesso indocile ai voleri del minatore.

La scintilla elettrica è quella che minaccia escludere dalle mine non solo le ordinarie micce, ma ancora tutti quegli altri mezzi che in varii tempi furono suggeriti come succedanei, quali sarebbero l'acido solforico e il clorato di potassio, i composti fulminanti, il sodio, il fosforo di calce, ecc.

Il principale beneficio che porta il metodo d' accensione per mezzo dell' elettricità si è di allontanare i funesti accidenti che disgraziatamente si spesso accompagnano l'esplosione delle mine quando sono accese per mezzo dei processi ordinari.

Questi accidenti possono provenire da varie cause, e principali di esse sono o la troppo rapida accensione, che non lascia tempo agli operai di allontanarsi, o il ritardo troppo prolungato dello scoppio. L' ultima è quella che dà il maggior numero di vittime, poichè siccome si fanno in generale partir più mine in una volta, non si può sentire ad un istante dato se abbiano tutte fatto esplosione, e può avvenire che una o più di esse si trovino in ritardo; in questo caso gli operai che si avvicinano per riprendere il lavoro, si trovano esposti a gravi pericoli.

Ciò si evita completamente coll' impiego dell' elettricità, la quale inoltre ha il vantaggio di rendere più sicura l' operazione, di aumentare l' effetto della polvere colla simultaneità della esplosione delle diverse mine, e di dare una forte economia sui processi di accensione ordinari, specialmente nel caso di grandi mine.

Questa economia, che sarebbe impossibile se si dovesse ricorrere alla semplice corrente elettrica, per la grande potenza della pila a ciò necessaria, si ottiene impiegando l' ingegnoso apparecchio del Ruhmkorff, unitamente al razzo dello Statham, la cui azione è basata sopra l' effetto prodotto da una conducibilità secondaria (*).

(*) La prima applicazione si fece in una mina colossale data a Cherbourg il 4.º settembre del 1854 sotto la direzione del valente fisico T. Du Moncel.

Il rocchetto del Ruhmkorff moltiplica l' intensità di una debole corrente elettrica, il razzo la trasmette sotto forma di scintilla alla carica contenuta nella mina e ne provoca l' esplosione. Il razzo dello Statehan può essere sostituito da quello meno costoso del Gaiffe o dall' esca elettrica del colonnello d' Ebner che s' accende anche per mezzo di una corrente debolissima.

Varii sono i metodi proposti per l' applicazione dell' elettricità all' accensione delle mine (*). Nella Fig. 3 rappresento dimostrativamente l' apparecchio del Ruhmkorff, dove in *A* si ha il rocchetto, in *B* il manipolatore e in *C* il commutatore. Se il manipolatore si porrà a contatto di due delle lamine di rame *a* del commutatore, si chiuderà il circuito per la mina che loro corrisponde e se ne produrrà l' esplosione; se invece si farà scorrere rapidamente su tutte le lamine, si avrà l' esplosione simultanea di tutte le mine. A questo modo l' operatore può regolare a suo talento l' esplosione delle diverse mine, ossia può farle partire simultaneamente o interpolatamente a seconda degli effetti che vogliono produrre; e restano eliminati i pericoli di esplosioni troppo rapide o ritardate.

Questi grandi vantaggi ristringeranno l' uso delle micce e renderanno più generale l' applicazione dell' elettricità.

E qui porrò fine al mio lavoro, nel quale, comunque sia riuscito, tentai di dare un cenno sulle principali innovazioni e scoperte che riguardano le mine. Come si vede, gli studi fatti son molti: il cap. Piron comincia ad emanciparsi dall' empirismo, la polvere pirica trova economici e potenti competitori, e l' elettricità cerca di soppiantare le ordinarie micce. Tutto questo per parte della scienza; resta ora alla pratica di scegliere e decidere.

(*) V. Du Moncel. *Notice sur l' appareil de Ruhmkorff.*

LUIGI CAMPANELLA.

Fig. 1.

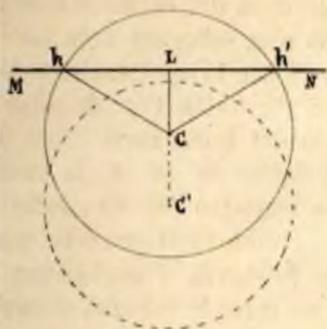


Fig. 2.

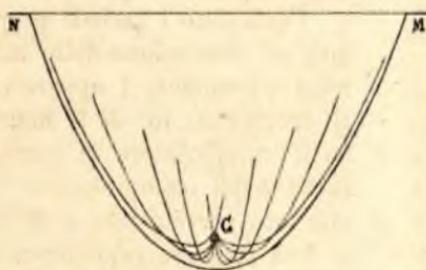
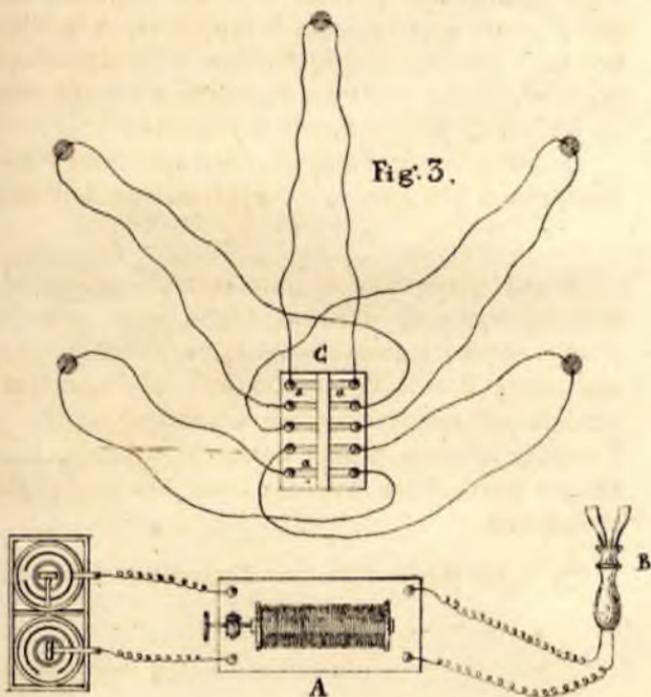


Fig. 3.



LIBRARY

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

130 St. George Street, Toronto, Ontario

Acquired by the University of Toronto

from the collection of the late

Professor J. H. P. Taylor

1968

1968

1968

TESI LIBERE

MECCANICA APPLICATA ED IDRAULICA PRATICA

Teoria generale dei motori idraulici.

MACCHINE A VAPORE E FERROVIE

Teoria generale delle macchine a vapore d'acqua saturo.

COSTRUZIONI CIVILI, STRADALI, IDRAULICHE

Teoria del prof. Curioni per la determinazione dello spessore delle grosse volte.

GEOMETRIA PRATICA

Planimetro polare di Amsler.

ERRATA-CORRIGE

ERRATA					CORRIGE
Pagina	24	Linea	5	N	V
»	25	»	11	h	h_2
»	—	»	12	h'	h_2
»	26	»	4	(dy)	$(dy)'$
»	27	»	3	dt'	$d't'$
»	—	»	5	$2 \pi a y dy$	$2 \pi a y dy'$
»	—	»	14	$\int \pi a y dy$	$\int \pi a y' dy'$
»	—	»	—	$2 p_1$	$2 p'$
»	28	»	4	n_1	n'
»	—	»	18	y	y'
»	—	»	21	$\frac{1}{4} \pi n h$	$\frac{1}{4} \pi n' h$
»	29	»	20	n	n'
»	31	»	12	h'	h'
»	—	»	14	h	h'
»	34	»	21	n_1	n'
»	35	»	2	h'	h'
»	37	»	10	$(0,564)$	$(0,564)'$
»	39	»	11	h	h'
»	—	»	28	c	C
