

Giorgio Ponzio - Maurizio Sala

PIETRO MICCA IPOTESI PER UNA MORTE ¹

Lo scopo di questa relazione è cercare di capire, da un punto di vista puramente tecnico e scientifico, come e perché sia morto Pietro Micca. Per svolgere questa ricerca ci si è basati su alcuni punti certi della vicenda. Questi punti sono due: la relazione del Generale Solaro de La Magarita ², comandante dell'Artiglieria della Piazza della Cittadella di Torino, da cui dipendevano i minatori, relazione che è senz'altro la più attendibile, ed il luogo dove è avvenuto lo scoppio - la scala - che è giunto intatto fino a noi da quella notte del 29 agosto 1706.

Non si parlerà né discuteremo di storia: ciò che è accaduto prima dello scoppio non interessa, e del resto se ne è già ampiamente scritto ³. Si cercherà invece di capire come era fatta la mina, i danni che causò e gli effetti generati dallo scoppio sul corpo di Pietro Micca. Per sviluppare questi argomenti si è divisa la relazione in tre parti: una sulla polvere nera, una ingegneristica sul fornello da mina ed una medica.

LA POLVERE NERA

Benché oggi la polvere nera sia considerata un esplosivo scadente di pericoloso maneggio fino alla meta dell'Ottocento è stata praticamente l'unico esplosivo usato, sia per impieghi militari sia per impieghi civili o minerari. Sarà ora analizzata un po' più in dettaglio, iniziando con il considerarla da un punto di vista chimico. La composizione della polvere nera usata oggi è qualitativamente simile alle polveri di allora, salvo che oggi il salnitro è prevalentemente nitrato sodico mentre allora era prevalentemente nitrato potassico, e che la percentuale di nitrato è verosimilmente più elevata di allora, (circa 75% oggi, mentre le polveri di un tempo ne avevano per lo più dal 62 al 70%). Questa minore percentuale di salnitro è dovuta a vari motivi: prima di tutto il salnitro era l'elemento più costoso e più difficile da ricavare, in più è fortemente igroscopico, quindi si deteriora facilmente quando è posto in luoghi umidi. Oggi inoltre si usano percentuali più alte perché generano fumi meno tossici, ma quest'ultima caratteristica, ovviamente, nel 1700 non si poteva conoscere. Questa piccola differenza di composizione non dovrebbe modificare di molto le proprietà del miscuglio, e d'altra parte all'inizio del 1700, non essendo ancora nota la chimica, non potevano esserci controlli adeguati della purezza degli ingredienti, per cui le incertezze sulla composizione sono "assorbite" dall'incertezza generale dei dati.

¹ Il presente articolo trae origine dalla conferenza tenuta da Giorgio Ponzio e Maurizio Sala il 12 dicembre 1979 presso il Museo Pietro Micca.

² Solaro de La Margarita Giuseppe Maria: *Journal Historique du Siège de la Ville et de la Citadelle de la Ville de Turin en 1706*. Del giornale esistono cinque edizioni, la prima di Amsterdam (anonima) del 1708, la quinta di Torino, variamente rimaneggiata dal Cibrario. Il Barone Antonio Manno, in base ai manoscritti originali rinvenuti negli archivi del Castello de La Margarita, pubblicò le due pagine di minuta riguardanti Pietro Micca, omesse nelle varie edizioni, in: *Pietro Micca ed il Generale Solaro de La Margarita - ricerche terze*. Torino 1883

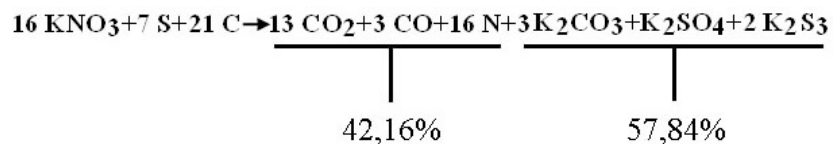
³ A titolo esemplificativo: Guido Amoretti: *La Verità Storica su Pietro Micca* - Torino 1975; Carlo Trabucco: *La Volpe Savoiarda e l'Assedio di Torino*, cap. XIV, Torino 1978.

Allora come oggi la polvere nera veniva preparata in diverse versioni (per cannoni, per fucili, per mine) ma non è dato sapere molto sui dettagli della preparazione delle diverse varietà di polvere, tanto più che gli ingredienti, in assenza come accennato di controlli chimici, variavano certamente da partita a partita di polvere per qualità e proprietà.

La composizione della polvere nera influisce anche sulla velocità di deflagrazione, che può giungere fino a circa 400 metri al secondo, 1450 Km/h; ma assai più della composizione influisce la granitura della polvere e la bontà dell'intasamento. Su queste caratteristiche non si hanno dati riguardo alla mina di Pietro Micca.

Inoltre la minore percentuale di nitrato conferiva una assai maggiore tossicità ai fumi delle polveri allora usate. Questo è dovuto semplicemente alla reazione chimica di combustione della polvere nera. Riportiamo, come esempio, la reazione chimica per 100 grammi di polvere.

Nitrato di potassio KNO_3 = 75 gr
 Zolfo..... S = 10 gr
 Carbone di legna..... C = 15 gr



Come si vede dalla formula una combustione perfetta lascia una notevole quantità di materiali incombusti. Si può senz'altro affermare che, date le incertezze sulla composizione di cui si è parlato e l'umidità del luogo - i barili di polvere orano in posizione già da alcuni giorni - la percentuale di nitrato era senz'altro variata e, poiché è quest'ultimo composto a fornire l'ossigeno necessario alla combustione, la reazione non è stata completa e si è avuta una seconda combustione dovuta soltanto al carbone della miscela, che non aveva reagito, con l'ossigeno presente nella galleria.

È questa seconda combustione che genera la vampa di fuoco di cui parla il Solaro; però la quantità di ossigeno presente in galleria non era sufficiente a bruciare tutto il carbone, come hanno dimostrato le tracce di quest'ultimo e di residui solidi che sono state ancora trovate nella scala al momento della riapertura.

Passando a considerazioni di tipo fisico si rileva che un chilogrammo di polvere nera (che corrisponde a circa 0,9 litri, essendo il peso specifico della polvere sciolta circa 1,1) deflagra formando circa 300 normal-litri di gas - litri di gas portati alle condizioni ordinarie di temperatura (0° C), e pressione (1 atm) - sviluppando circa 600 kilocalorie. La temperatura che si raggiunge all'atto dello scoppio è di circa 2.500°C. La durata della reazione dipende da troppi fattori per potere essere precisata, ma per fissare un ordine di grandezza si può affermare che in una mina ben caricata 1 Kg di polvere nera deflagra in circa un centesimo di secondo. La pressione che si raggiunge nella camera di scoppio all'atto dell'esplosione, posto che la camera stessa sia ben riempita e ben borrata, può superare le 3.000 atmosfere (3.000 chilogrammi per centimetro quadrato).

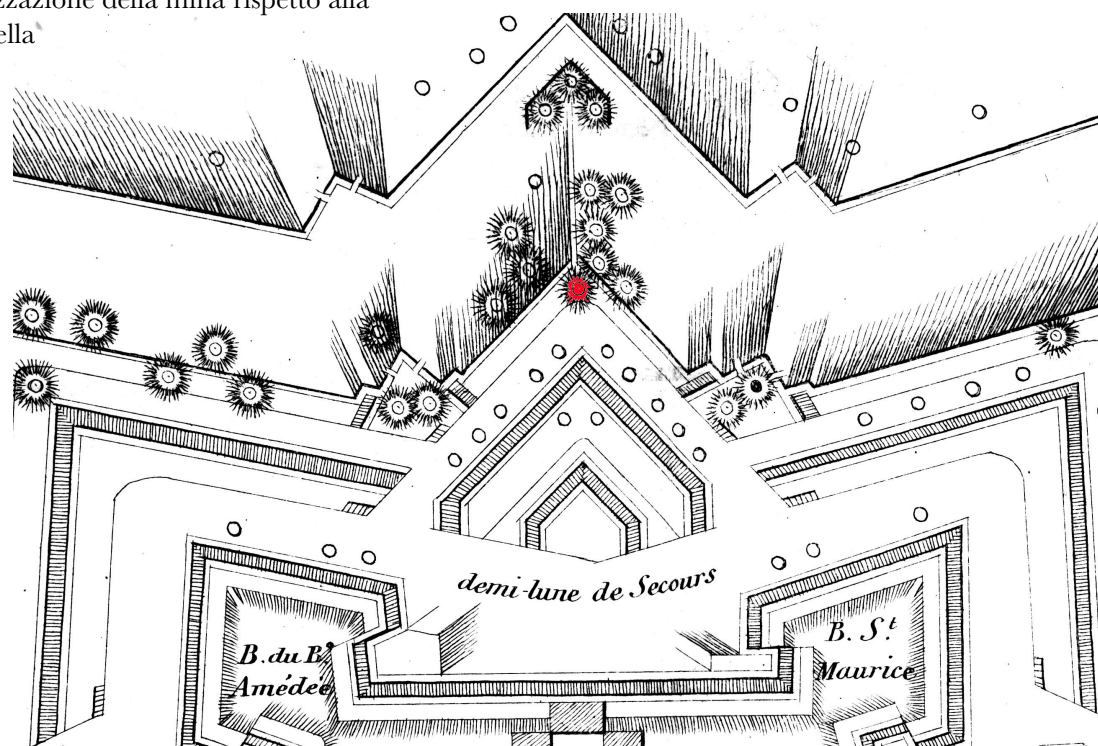
Dopo queste precisazioni sulla polvere nera si considerino ancora alcune notizie sui sistemi di accensione delle mine. Si parla comunemente di "miccia", ma è bene precisare che il termine, nel 1700, aveva un significato del tutto diverso dall'attuale.

Solo nel 1831 furono rese disponibili micce degne di questo nome, ossia cordoncini con anima in polvere deflagrante e copertura impermeabile, caratterizzati da una velocità di combustione perfettamente nota.

Prima di allora il problema di portare la fiamma ad una certa quantità di esplosivo, chiusa in una cavità comunicante con l'esterno per mezzo di uno stretto canale, veniva risolto in modi ingegnosi ma tutt'altro che sicuri. Ogni mina, anche se preparata per finalità non belliche (civili o minerarie), era un gioco d'azzardo: non sempre esplodeva al primo tentativo e non sempre esplodeva al momento voluto. Infatti nel sottile canale che metteva in comunicazione la carica con l'esterno non c'era aria sufficiente a far bruciare un combustibile ordinario, e l'unica sostanza capace di "bruciare al chiuso" era la polvere nera stessa. Si preparava allora un tubo pieno di polvere nera (una cannucchia, un tubo di cartone, o, come nel nostro caso, una "salsiccia" di stoffa piena di polvere nera) e lo si disponeva nel condotto, in modo che un estremo comunicasse con la carica e l'altro sporgesse all'esterno.

Ma a questo punto non si poteva certo mettere fuoco a questo estremo, perché la deflagrazione si sarebbe immediatamente propagata alla carica. Si attaccava quindi a detto estremo una (o, per maggiore sicurezza, più d'una) funicelle impregnate di sostanze infiammabili (zolfo, salnitro o simili), che potevano ardere solo all'aria aperta, e si dava fuoco ad esse; la fiamma si propagava lungo queste con una velocità non proprio nota, giungeva alla salsiccia piena di polvere e provocava la deflagrazione. L'umidità, la posizione della funicella, la qualità della sostanza infiammabile di cui era impregnata, o, naturalmente la sua lunghezza, determinavano il tempo richiesto dalla completa combustione e quindi il tempo disponibile al minatore per porsi in salvo. Non era però possibile prendere tale tempo con esattezza, né era buona politica allungarlo per eccesso di prudenza usando funicelle molto lunghe, perché sarebbe cresciuta la probabilità che le funicelle si spegnessero per qualche fortuito motivo.

Localizzazione della mina rispetto alla Cittadella



Per un altro dettaglio, importante, differivano le micce di allora da quelle attuali: esse bruciavano a fiamma libera e pertanto erano facili a spegnersi, ed inoltre non era indispensabile accenderle ad un estremo come quelle di oggi: potevano essere accese in un punto qualunque, con facilità. Pertanto, anche se la miccia fosse stata inizialmente tagliata di lunghezza sufficiente a consentire al minatore di porsi in salvo, egli poteva ridurre il tempo semplicemente accostando la fiamma della lampada ad un punto più vicino alla salsiccia. È possibile che abbia fatto così anche Pietro Micca, nell'imminenza dell'irruzione dei soldati nemici.

IL FORNELLO DA MINA E L'ESPLOSIONE

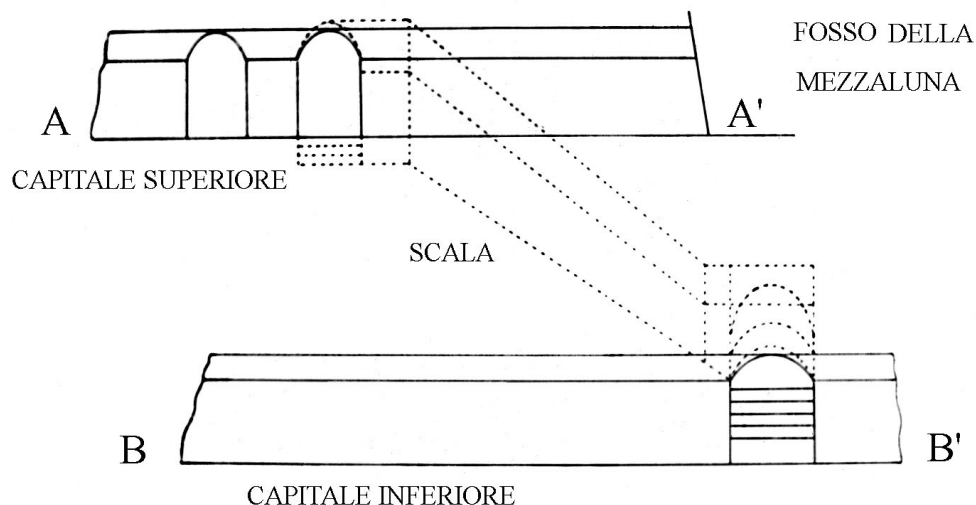
Premesso questo si può passare ad analizzare da vicino l'episodio di Pietro Micca. Per prima cosa bisogna determinare la quantità di esplosivo usata per preparare la mina. I dati di cui si dispone sono scarsi, ma ci si può appoggiare su alcuni fatti certi. Lo scopo per cui fu preparata la mina è noto da quanto dice il Solaro: si trattava di una mina preparata per fare crollare la scala di collegamento tra la capitale alta e la bassa.

La carica doveva trovarsi a circa 1,5 metri dalla parete del gomito della scala, in posizione tecnicamente abbastanza corretta perché una mina colà disposta avrebbe lavorato su due pareti libere. È evidente che ci si attendeva dalla mina la demolizione della muratura esistente tra la carica ed il gomito, ed il crollo della volta soprastante, bloccando l'ingresso dal fosso della Mezzaluna del Soccorso e la discesa della scala.

Non è ben nota la profondità alla quale la carica si trovava, ossia la profondità del fornello, si sa solo che era inferiore a 1,7 metri, perché questa era, secondo quanto riferisce il Solaro, la lunghezza della salsiccia (che necessariamente doveva sporgere dal fornello).

Nella tecnica esplosivistica si chiama "linea di minor resistenza" la minima distanza tra una parete libera e la carica. È noto, ed era noto anche nel 1700, che l'effetto distruttivo della carica si esercita prevalentemente nella direzione di minor

Sezione verticale delle capitali alta, bassa e scala



resistenza, e quindi, se si vuole (come in questo caso appare plausibile) che la carica eserciti il suo effetto prevalentemente di "lato", la si deve disporre in modo che abbia davanti a sé un intasamento più lungo della distanza che separa la carica dalla parete laterale.

Nel caso, quindi, ci si aspetterebbe un fornello profondo almeno 1,7 metri. Ma si vede chiaramente che non v'è spazio per praticare un fornello di adeguata lunghezza. La lunghezza può essere, al più, di 1 metro, diversamente la carica avrebbe esercitato gran parte del suo effetto distruttivo sulla parete della galleria retrostante, e non si avrebbe avuto la sicurezza della demolizione della parete della scala. Comunque è fuori dubbio che un intasamento, anche solo di mezzo metro, doveva esserci: se infatti la carica ne fosse stata sprovvista l'esplosione non avrebbe arrecato che pochi danni alla scala, senz'altro non franava né la volta né la galleria retrostante.

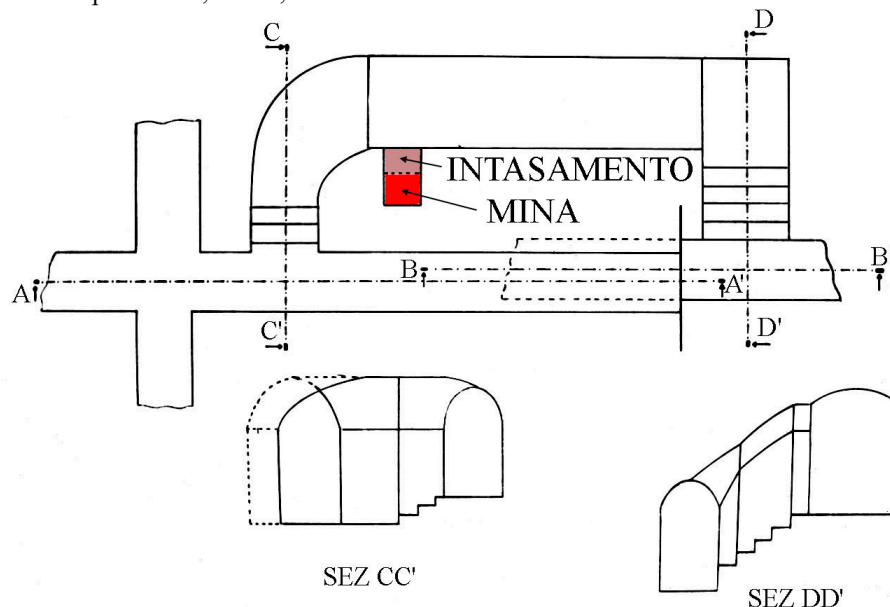
Si poteva, è vero, far franare la volta con una carica senza intasamento, però tale carica doveva essere varie volte superiore, come quantità, a quella necessaria con l'intasamento, e, dato che ormai la polvere nera scarseggiava, è molto difficile che si sia preso tale partito.

L'ipotesi che ci sembra più plausibile è quella che il fornello sia stato posto alla distanza indicata in un vano rivestito in legno e paglia per preservare la carica dall'umidità, come del resto già si usava fare in casi analoghi.

Una carica così disposta avrebbe senz'altro fatto franare la volta della scala e la parete retrostante della galleria come in realtà avvenne. Tutto ciò vale ovviamente se si opera con la polvere nera: la dinamite infatti risulta efficace anche con poco o punto intasamento.

La quantità di esplosivo da impiegare per abbattere una parete è proporzionale alla terza potenza dello spessore della parete stessa. Questa semplice relazione ora già nota certamente allora (si usava da più di un secolo la polvere nera per abbattere muratura e roccia) e certo era nota agli specialisti dell'esercito piemontese. Nel caso della polvere nera, e della demolizione di una muratura media, la formula di calcolo è, nelle nostre unità di misura, $C = 5l^3$ (C = carica in chilogrammi, l = spessore in metri, 5 = coefficiente). La formula deriva dalla pratica, ed è teoricamente

Planimetrie e sezioni delle capitali alta, bassa, scala e localizzazione del fornello di mina



giustificabile quanto alla struttura; è riportata nei vecchi manuali, ed il risultato dà una sicurezza d'effetto distruttivo pienamente soddisfacente. Il coefficiente varia relativamente poco da tipo a tipo di muratura; deve essere portato a 7 se ci si trova in presenza di roccia compatta, può scendere a 2 se il mezzo da demolire è terra poco compatta, ma per le ordinarie murature si discosta poco da 5.

Nel nostro caso, volendosi demolire uno spessore di 1,5 metri di muratura più o meno buona, la carica risulterebbe di: $5 \times 1,5 \times 1,5 \times 1,5 = 16,8$ chilogrammi. È verosimile che la carica sia stata portata a poco più di 30 chilogrammi, corrispondente ad un paio di barili, anche per tenere conto del borrhaggio poco efficiente. A questo proposito va detto che, solitamente, il peso di polvere usato era un multiplo intero del peso contenuto in un barile. Per comodità di trasporto i barili non superavano certo il peso di 20 chili; in base a questo ed altri dati, con una breve ricerca, si è arrivati a stabilire un valore probabile di peso pari a 15,8 chili per barile.

A questo punto si possono calcolare gli effetti causati dallo scoppio della mina. 30 chili di polvere nera sviluppano esplodendo, in un tempo dell'ordine di 300 millisecondi, 9 normal-metri cubi di gas. Essendo la temperatura di esplosione di circa 2500°C il volume di gas avrebbe potuto raggiungere, se portato a pressione ordinaria, circa 80 metri cubi. L'immissione di questi gas nell'ambiente è praticamente istantanea, il cedimento del muro e del borrhaggio avvenendo bruscamente a reazione ultimata o quasi.

Il volume del vano nel quale i gas trovano immediato sfogo (costituito dal vano della scala) è dell'ordine di 30 metri cubi. Attraverso due gomiti questo vano comunica con una angusta galleria (capitale bassa), della sezione di circa 1,8 metri quadrati, della quale un lato sbocca all'interno della Cittadella, l'altro non ha uscita dopo percorsi non rettilinei, presentanti diramazioni cieche, pozzi di aerazione e, verosimilmente, anche porte per cui è impossibile un calcolo della resistenza aerodinamica. La lunghezza della galleria da un lato e dall'altro è dell'ordine di 150 metri.

Si considera che i gas si siano diretti in prevalenza verso la capitale bassa in quanto lo sfogo nella galleria alta si era ridotto al momento dello scoppio per le distruzioni causate. Si può ammettere in prima approssimazione che la pressione nel vano libero immediatamente occupato dai gas (quello nella scala) sia giunta pressoché istantaneamente ad un valore prossimo a quello ottenibile facendo esplodere 30 chili di polvere nera in una camera chiusa del volume di 30 metri cubi: da 2 a 3 atmosfere. Se la camera fosse stata veramente chiusa avrebbe potuto anche sollevare la coltre di 6-7 metri di terra e pietrame che sovrastano la galleria, ma lo sfogo offerto dalla galleria bassa non lo permise.

Alla fuoriuscita dei gas d'esplosione dalla predetta galleria si opponeva unicamente l'inerzia dell'aria in essa contenuta e la resistenza aerodinamica delle gallerie stesse (il corpo di Pietro Micca, dal punto di vista fisico, era un accidente trascurabile); si possono considerare i gas dell'esplosione come un poderoso stantuffo che cercava di espellere dal condotto l'aria che lo occupava, applicando su tutta la sezione una forza che inizialmente superava la trentina di tonnellate (una differenza di pressione di 2 atmosfere su una sezione di 1,8 metri quadrati corrisponde appunto ad una forza di 30 tonnellate) e via via scemando nel tempo al crescere del volume che i gas erano riusciti a conquistare.

EFFETTI FISICI DELL'ESPLOSIONE SU PIETRO MICCA

Se si ammette che il corpo del soldato opponesse alla ventata una superficie dell'ordine di 0,7 metri quadrati, e che la sua massa fosse di 70 chili, si trova che la forza su di esso esercitata era dell'ordine di 14 tonnellate (forza esercitata bruscamente e per breve tempo), sufficiente ad imprimergli un'accelerazione di 200 metri al secondo quadrato (circa 20 volte quella di gravità).

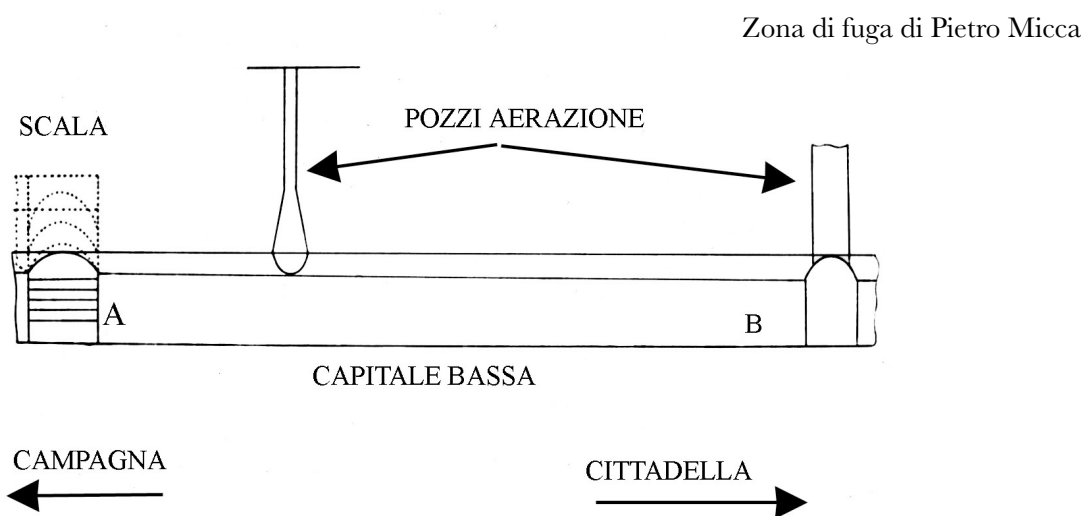
In un decimo di secondo la sua velocità poteva pertanto passare da probabilmente poco più di 10 chilometri all'ora, Pietro Micca nei limiti del possibile e del luogo sicuramente correva, ad oltre 70 chilometri all'ora, e lo spazio percorso in accelerazione sarebbe stato di una decina di metri.

Ci si può quindi stupire che il corpo sia stato trovato solo ad una trentina di metri dalla scala, se era stato colto dallo scoppio alla base della stessa, ed in effetti l'unica spiegazione possibile di una così breve proiezione è data dal fatto che in quel punto la corrente rallentava bruscamente per via delle diramazioni e del pozzo di aerazione che accrescevano la sezione di passaggio a disposizione dei gas.

Il collega di Pietro Micca doveva trovarsi sicuramente oltre il pozzo e da ciò dipese il fatto che si salvò. Vi è anche da considerare che all'espansione dovette seguire un risucchio, immediatamente dopo, dovuto alla contrazione per raffreddamento dei gas d'esplosione. Questo effetto potrebbe avere riportato indietro il cadavere di qualche metro, ma la cosa è poco probabile poiché il raffreddamento non può essere stato molto brusco. La velocità della corrente di gas era certamente supersonica nel punto in cui Pietro Micca fu raggiunto, e rimase supersonica finché la sovrappressione non si ridusse a circa mezza atmosfera; tenuto conto della sezione della galleria, da 1 a 2 decimi di secondo dovettero essere necessari perché la velocità si riducesse a valori subsonici, tempo abbondantemente sufficiente ad accelerare il corpo, come visto, ad una velocità bastevole a fargli percorrere "in volo" un lungo tratto.

IPOTESI SULLE CAUSE DI MORTE

Per potere formulare delle ipotesi sugli eventi che determinarono la morte di Pietro Micca bisogna prendere in considerazione i vari effetti lesivi provocati dalle esplosioni, tenendo conto del punto della galleria in cui si trovava il minatore al momento dello scoppio. Quale esso fosse non si è in grado di dirlo; si possono solo



fissare due punti estremi, in base a quanto riferisce il Solaro, e cioè il punto A subito svoltato dalla scala ed il punto B a quaranta passi di distanza, dove fu ritrovato il corpo; qualsiasi posizione intermedia è ipotizzabile e tale fatto verrà opportunamente valutato.

Gli effetti lesivi dovuti alle esplosioni si possono suddividere in: a) effetti emotivi, b) lesioni traumatiche, c) sindrome da esplosione. Si sono posti per primi gli effetti emotivi poiché è molto improbabile che essi siano stati la causa della morte di Pietro Micca. Infatti se si considera l'età del minatore (30 anni) e l'abitudine acquisita in mesi di lotta sotterranea è difficile ritenere che nevrosi traumatica e psicosi da spavento abbiano potuto provocarne la fine della vita. Tuttavia tale situazione è stata spesso notata in guerra in seguito ad esplosione di grossi proiettili di artiglieria, ed è caratterizzata da assenza di alterazioni anatomiche. Non di rado il decesso è imputabile a sincope cardiaca ⁴.

Le lesioni traumatiche devono essere distinte in tre tipi ⁵.

Il primo è costituito dalle lesioni meccaniche che possono essere determinate per proiezione di materiali diversi contro la vittima o per proiezione della stessa contro piani resistenti. Nel caso di Pietro Micca la presenza di tre curve ad angolo retto tra il fornello ed un qualsiasi punto tra A e B esclude la possibilità che egli sia stato colpito da materiali scagliati dall'esplosione.

Per quanto riguarda gli urti contro piani resistenti se Pietro Micca era nel punto B il soffio dell'esplosione si sarebbe limitato a gettarlo a terra, con scarse conseguenze. Se ci si sposta verso A il minatore avrebbe compiuto un "volo" più o meno lungo, durante il quale potrebbe aver urtato contro le pareti della galleria, urti tangenti con eventuali effetti di rimbalzo. Le lesioni possono essere molto variabili e di gravità crescente; è molto difficile però dire se poterono essere letali. Comunque spostandosi verso A intervengono altri fattori tali che queste lesioni possono essere considerate trascurabili. In questo paragrafo è anche da considerarsi l'effetto dell'accelerazione. Nell'ipotesi che Pietro Micca fosse nel punto A questa è stata di 20 g per la durata approssimativa di 1/10 di secondo. Si è trattato di un'accelerazione trasversa applicata uniformemente su tutta la superficie corporea. In queste condizioni l'organismo umano può sopportare valori tremendi: 100 g per frazioni di secondo, 25 g per molti secondi senza effetti seri, mai letali ⁶. È da escludere quindi che questa possa essere stata la causa della morte.

Il secondo tipo è costituito dalle lesioni termiche. La vampata che ha investito Pietro Micca, se egli fosse stato nel punto A, era certamente capace di provocare gravi ustioni. In ambiente libero le radiazioni termiche derivanti da un'esplosione diminuiscono con il quadrato delle distanze. Tale variazione è molto minore in un sistema di gallerie, e questo spiega perché il compagno, che, come si è detto, doveva trovarsi oltre il pozzo di aerazione, risultò "demi-brulé".

A questo punto è opportuno fare alcune considerazioni sul racconto che quest'ultimo fece al Solaro. Egli dichiarò di avere udito Pietro Micca gemere prima di morire, non distandone più di 30 passi. L'unica possibile interpretazione è che tale fosse la distanza tra i due minatori un attimo prima dell'esplosione: infatti subito dopo la galleria dovette essere completamente al buio, invasa dal fumo.

⁴ Leoncini Francesco: *Lezioni di medicina legale*. Firenze 1971.

⁵ Lopez Gomez Leopoldo, Gisbort Calabuig Juan Antonio: *Tratado de medicina legal*. Valencia 1962.

⁶ A. C. Guyton: *Textbook of medical physiology*. Philadelphia 1976.

Questo fatto permetterebbe di ipotizzare che la posizione di Pietro Micca al momento dello scoppio fosse tra un punto a meta circa tra A e B e B stesso. Se fosse stato però in B, il compagno doveva trovarsi 15 metri circa oltre il pozzo di aerazione, fatto abbastanza incompatibile con le bruciature riportate. Pietro Micca si sarebbe quindi trovato probabilmente pochi passi oltre la meta tra la scala ed il pozzo di aerazione.

È poi sicuramente impossibile che il compagno lo abbia sentito gemere: avrebbe dovuto fermarsi ad ascoltare per qualche secondo, cosa molto improbabile quando si è investiti da una fiammata, si è assordati da una esplosione, si è immersi in aria irrespirabile. Tuttavia tali affermazioni non stupiscono sapendo che paura, dolore, emozioni violente, stordimento possono essere causa di gravi errori di rilievo per quanto concerne un determinato evento⁷. Quindi, nel proseguire la trattazione, si continuerà ad analizzare tutte le ipotesi.

Ritornando agli effetti termici su Pietro Micca si può, entro certi limiti, affermare che non furono la causa determinante la morte, e se ne vedrà in seguito il perché.

Il terzo tipo di lesioni è rappresentato da quelle chimiche. A loro volta si suddividono in quelle provocate da residui di esplosivo proiettati contro la vittima e quelle provocate da prodotti di decomposizione dell'esplosivo stesso (ossido di carbonio, anidride solforosa, ecc.). Nel caso in questione l'unico fattore da prendere in analisi è l'ossido di carbonio. Com'è noto gli esplosivi liberano in media il 3-4% di questo gas; la polvere nera allora in uso, se ne è già parlato, ne produceva in percentuale maggiore.

Considerando gli spazi angusti, lo scarso ricambio d'aria, si può concludere che nel tratto di galleria tra A e B la concentrazione di CO fu e rimase per un certo tempo su valori elevati, forse in totale assenza di ossigeno, bruciato dalla polvere di carbone responsabile della fiammata.

In queste condizioni può verificarsi una intossicazione iperacuta con perdita immediata della coscienza, paralisi, morte rapidissima. Bisogna però anche tener conto, quale altra eventualità, che quando l'ossido di carbonio è miscelato con gas irritanti (in questo caso anidride solforosa principalmente) la morte può determinarsi prontamente con meccanismo inibitorio per stimolazione della mucosa nasale⁸.

Si consideri infine la sindrome da esplosione. Gli effetti fisici di una esplosione sono dovuti a tre fattori: dispersione molecolare dei gas, onda di pressione positiva dovuta alla espansione dei gas contro l'inerzia dell'aria circostante, onda di pressione negativa che segue la precedente. Le due onde sono responsabili degli effetti delle esplosioni in assenza di altri tipi di lesioni. L'onda positiva, od onda esplosiva, presenta una velocità iniziale di circa 1500 m/sec. Il tempo di aumento della pressione dal valore normale al massimo dell'onda varia da 1/2 ad 1/10 di millisecondo.

Non si conosce esattamente la pressione letale per l'uomo, ma in base ad onde esplosive di artiglierie se è visto che pressioni di 0,175 Kg/cm² mettono fuori combattimento, mentre pressioni tre volte maggiori (0,525 Kg/cm²) provocano sintomi molto gravi.

⁷ Comando Generale dell'Arma dei Carabinieri. Ufficio Addestramento: *Istruzioni di tecniche di polizia giudiziaria per l' Arma dei Carabinieri*. Roma 1970.

⁸ A. Cazzaniga, C. M. Cottabeni: *Compendi di medicina legale e delle assicurazioni*. Torino 1974.

Riguardo all'onda negativa sperimentalmente si è provato che il limite di sicurezza, con largo margine, è rappresentato da rapidi dimezzamenti della pressione assoluta ⁹. Poiché la caduta di pressione nelle gallerie deve essere stata relativamente lenta, l'onda negativa non dovrebbe aver avuto alcun effetto su Pietro Micca.

Non rimane quindi che analizzare gli effetti dell'onda esplosiva. Si può supporre con buona approssimazione che Pietro Micca pesasse 70 Kg. e fosse alto 1,70 m circa. Questi valori permettono di calcolare una superficie corporea di 1,8 m².

Se al momento dell'esplosione il minatore si fosse trovato in A sarebbe stato sottoposto ad una pressione dell'ordine di 30 tonnellate, corrispondente a circa 1,6 Kg/cm², tre volte superiore a quella in grado di provocare gravi lesioni. Non è facile dire quale fu la variazione di pressione lungo la galleria, ma si può ipotizzare che in B fosse ancora abbastanza elevata, come dimostra il fatto che il compagno, benché oltre il pozzo di aerazione, sia stato ancora investito dalla fiammata.

Nei soggetti morti esclusivamente per effetto dell'onda esplosiva, e cioè in condizioni simili a quelle del punto A, si possono riscontrare, tipicamente, tenuto conto della notevole variabilità della pressione, emorragie interne, dei polmoni e dei bronchi, ed il parenchima polmonare può presentare zone di enfisema. Possono pure essere presenti emorragie e lacerazioni a livello del tubo digerente.

Significativo è anche lo scoppio di cavità piene di liquido, come la vescicola biliare, la vescica urinaria, le pelvi renali. In alcuni casi compaiono emorragie intracraniali per il violento aumento della pressione sanguigna nel cervello a causa della pressione esercitata sulla rimanente parte del corpo ¹⁰.

Gli effetti più drammatici sono però rappresentati dallo scoppio della testa e del retrobocca. La causa sarebbe un istantaneo enorme aumento della pressione dell'aria contenuta nell'albero respiratorio a livello della bocca, della faringe, della laringe e della trachea. In simili casi non si sono notate lesioni dilanianti a livello di bronchi e dei polmoni ¹¹. Per pressioni di valori più bassi si possono notare commozione e shock traumatico primitivo.

Riassumendo da tutti i dati fin qui esposti si può ritenere che se Pietro Micca fosse stato in A o poco oltre, la morte sarebbe stata pressoché istantanea e determinata dall'onda esplosiva. Spostandosi progressivamente verso B diminuiscono le lesioni prodotte dall'onda esplosiva e compaiono quelle da urti contro le pareti della galleria, ma comunque la causa principale della morte deve successivamente attribuirsi all'ossido di carbonio da solo od in combinazione con i gas irritanti. Si può anche affermare che nella posizione limite B vi erano tutte le condizioni perché la morte fosse rapida se non istantanea.

⁹ E. Meda: *La respirazione*. Istituto di Fisiologia Generale dell'Università. Torino.

¹⁰ Moritz: *Patology of trauma*. Philadelphia 1954.

¹¹ G. G. Perrando: *Di alcuni reperti riscontrati sulle vittime dell'esplosione della Strega*. Giornale di Medicina Legale N° 5, 1902.