

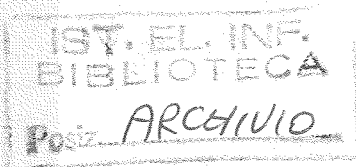


Consiglio Nazionale delle Ricerche

MAURO BRAMANTI - GIAMPAOLO GARGANI

IL MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI

IEI: B5-01
marzo 1996



I.E.I.
ISTITUTO DI
ELABORAZIONE DELLA
INFORMAZIONE

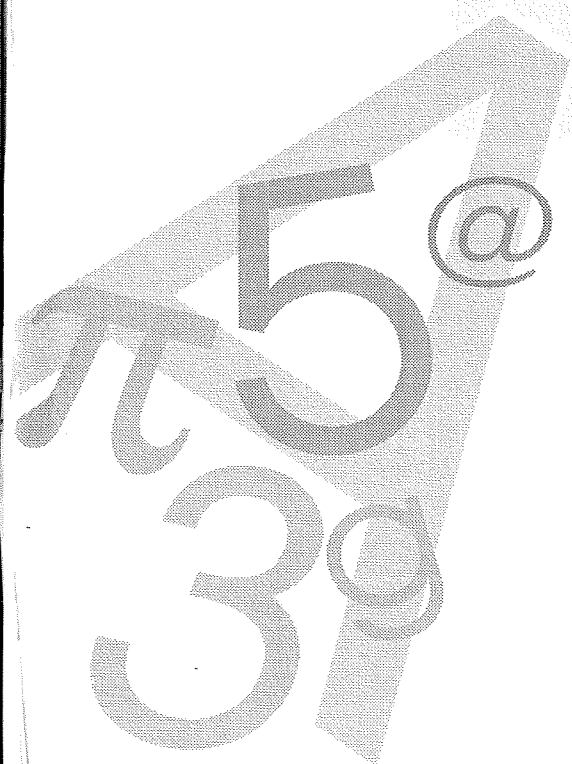
Pisa



Consiglio Nazionale delle Ricerche

MAURO BRAMANTI - GIAMPAOLO GARGANI

IL MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI



MAURO BRAMANTI - GIAMPAOLO GARGANI

IL MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI

Indice

INDICE	3
INDICE DELLE FIGURE.....	5
INDICE DELLE TABELLE	6
PREMESSA	7
GLI INVENTORI DEL MOTORE A SCOPPIO ED I LORO COLLABORATORI	13
1.1 PADRE EUGENIO BARSANTI	13
1.2 FELICE MATTEUCCI.....	18
1.3 PADRE GIOVANNI ANTONELLI.....	20
1.4 PADRE FILIPPO CECCHI	21
CONOSCENZE SCIENTIFICHE AL TEMPO DELL'INVENZIONE	23
L'IDEA DEL MOTORE ED I PRIMI TENTATIVI DI REALIZZAZIONE.....	29
3.1 LA NASCITA DELLE PRIME IDEE.....	29
3.2 LA COLLABORAZIONE CON MATTEUCCI.....	31
3.3 I PRIMI STUDI, GLI APPARECCHI SPERIMENTALI COSTRUITI ED I RISULTATI OTTENUTI DA P. BARSANTI E MATTEUCCI	32
3.4 MEMORIA PRESENTATA ALL'ACCADEMIA DEI GEORGOFILI	36
CARATTERISTICHE TECNICO FUNZIONALI DEI MOTORI BARSANTI E MATTEUCCI45	
4.1 IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO	45
4.2 LO SCHEMA TECNICO	47
4.3 I MOTORI REALIZZATI.....	59
4.3.1) <i>Il prototipo sperimentale</i>	59
4.3.2) <i>Il motore delle Officine della Ferrovia Maria Antonia di Firenze</i>	60
4.3.3) <i>Il motore a stantuffi concorrenti per la motonavigazione</i>	60
4.3.4) <i>Il motore bicilindrico a stantuffi concorrenti</i>	63
4.3.5) <i>Il motore a stantuffi concorrenti ad azione diretta</i>	64
4.3.6) <i>L'ultimo motore</i>	67
ANALISI DEL CICLO, DEL RENDIMENTO, DELLA COMBUSTIONE E DEL COMBUSTIBILE IMPIEGATO	73

5.1 IL CICLO	74
5.2 IL RENDIMENTO	75
5.3 LA COMBUSTIONE E LA SUA INFLUENZA SUI RENDIMENTI	78
5.4 IL COMBUSTIBILE	81
RAFFRONTO DEL MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI CON IL MOTORE LENOIR E CON IL MOTORE A COMPRESSIONE PRELIMINARE.....	89
6.1 IL MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI ED IL MOTORE LENOIR: LA SCELTA FRA IL SISTEMA AD AZIONE DIFFERITA E QUELLO AD AZIONE DIRETTA	99
6.2 CONFRONTO FRA IL CICLO BARSANTI E MATTEUCCI ED IL CICLO A COMPRESSIONE PRELIMINARE... 90	
IL MANOSCRITTO XIMENIANO.....	103
LA PRIORITÀ DELL'INVENZIONE DI P. BARSANTI E MATTEUCCI.....	117
IL MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI E L'EVOLUZIONE DEL MOTORE A SCOPPIO.....	127
9.1 I PREDECESSORI.....	127
9.2 CONSIDERAZIONI SU ALCUNI ASPETTI DI BASE RELATIVI AI MOTORI BARSANTI E MATTEUCCI E A QUELLI DEI LORO PREDECESSORI	133
9.3 SVILUPPO DEL MOTORE A SCOPPIO NEGLI ANNI SUCCESSIVI ALL'INVENZIONE DI P. BARSANTI E MATTEUCCI.....	134
9.4 SVILUPPO DELL'OPERA DI P. BARSANTI E MATTEUCCI.....	136
I BREVETTI CONSEGUITI E LA SOCIETÀ ANONIMA DEL NUOVO MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI.....	141
10.1 I BREVETTI.....	141
10.2 LA SOCIETÀ ANONIMA DEL NUOVO MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI.....	145
APPENDICE A	149
APPENDICE B	155
BIBLIOGRAFIA	177

Indice delle tabelle

tabella n° 1	69
tabella n° 2	76
tabella n° 3	76
tabella n° 4	78
tabella n° 5	81
tabella n° 6	85
tabella n° 7	86
tabella n° 8	92
tabella n° 9	92
tabella n° 10	93

Premessa

Questa monografia deriva da una rielaborazione della tesi di laurea in Fisica del Dr. Giampaolo Gargani, Relatore il Prof. Mauro Bramanti dell'Istituto di Elaborazione dell'Informazione del CNR e Relatore Interno il Prof. Roberto Vergara Caffarelli del Dipartimento di Fisica dell'Università degli studi di Pisa, e costituisce una panoramica abbastanza completa e sistematica di tutti gli aspetti connessi con le ricerche di P. Eugenio Barsanti e Felice Matteucci finalizzate alla realizzazione del motore a gas.

Embrioni di idee per un tale sistema avevano già fatto la loro comparsa nel panorama scientifico-tecnico internazionale prima del lavoro dei due studiosi ed in seguito l'evoluzione della struttura dei motori a combustione interna è stata tale e di tale portata da far differire abbastanza gli attuali motori endotermici da quelli studiati e realizzati da Barsanti e Matteucci. Non v'è però dubbio che i loro studi affrontarono in modo sorprendente, tenuto conto delle conoscenze del tempo, tutte le problematiche fondamentali che stanno alla base di tali motori, fornendo idee nuove per la soluzione di tali problematiche, facendo effettivamente funzionare diversi tipi di macchine, dimostrando infine, per primi, la possibilità concreta di un loro utilizzo in usi correnti quali la locomozione di natanti e l'azionamento di macchine operatrici.

L'opera del Padre Scolopio Eugenio Barsanti (Pietrasanta, 1821 - Searing, 1864) e dell'ingegnere Felice Matteucci (Lucca, 1808 - Vorno (LU), 1887) è stata esposta con riferimento al contesto delle conoscenze tecnico scientifiche del periodo in cui essi operarono, con particolare riguardo agli aspetti termodinamici del ciclo termico realizzato nelle macchine da loro proposte e all'architettura dei vari tipi di motori da loro costruiti.

Il lavoro ha richiesto una attività di integrazione dei dati, disponibili in forma dispersa nella vasta letteratura riguardante l'invenzione, e la necessità, in alcuni casi, di un'opera di ricostruzione ed interpretazione di informazioni fornite in maniera approssimata.

I documenti originali a disposizione sono stati le numerose lettere, scritte dai due inventori o da chi ebbe a collaborare con essi, la Memoria affidata all'Accademia dei Georgofili ed il Manoscritto conservato nell'archivio dell'Osservatorio Ximeniano a Firenze.

Solo per uno dei sei motori realizzati esistono dati relativi a misure dirette: si tratta del motore a stantuffo ausiliario oggetto della relazione della Commissione del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti. Per gli altri i dati a disposizione provengono da misure compiute su motori con principio di funzionamento analogo, in particolare sulla macchina realizzata dai tedeschi Otto e Langen della quale si ebbe una produzione industriale che permise, successivamente, a vari studiosi di analizzarne le caratteristiche (si fa qui riferimento ai motori Otto e Langen costruiti nel periodo 1867-1877 e non a quelli successivi sfruttanti la compressione preliminare, ovvero il ciclo Beau de Rochas, più noto come ciclo Otto).

L'analisi dell'invenzione è preceduta da un quadro delle conoscenze scientifiche del tempo nel campo della termodinamica e della chimica. Si descrivono quindi le prime idee di P. Barsanti e le esperienze iniziali compiute in collaborazione con Matteucci. Si esamina successivamente il principio di funzionamento e le principali soluzioni tecniche ideate per lo sfruttamento di tale principio. Il ciclo termodinamico è analizzato utilizzando il diagramma pressione-volume del motore Otto e Langen, senza compressione preliminare. Segue l'analisi della combustione e lo studio dei combustibili impiegati. Viene infine fatto un confronto del ciclo, del rendimento e della combustione nel motore di P. Barsanti e Matteucci con quelli dei motori a compressione preliminare.

Vengono brevemente illustrati gli studi dei predecessori dell'opera di P. Barsanti e Matteucci e viene poi descritto lo sviluppo dell'invenzione dopo la morte del Padre Scolopio e l'evoluzione del motore negli anni immediatamente successivi.

Viene infine accennato alla Società costituita dai due inventori per lo sfruttamento commerciale del motore.

Si ringrazia il già citato Prof. Roberto Vergara Caffarelli per il materiale che ha voluto mettere a disposizione e per gli utili suggerimenti forniti; un ringraziamento anche al Dr. Bruno Barsella e al Dr. Emilio Doni per la loro funzione di Controrelatori.

Prof. Ing. Mauro Bramanti
Dirigente di Ricerca presso IEI-CNR
PISA

Dr. Giampaolo Gargani



Padre Eugenio Barsanti



Felice Matteucci

Capitolo 1

Gli inventori del motore a scoppio ed i loro collaboratori

Nei primi due paragrafi di questo capitolo sono riportate le note biografiche di P. Barsanti e Matteucci; si fa poi un accenno a P. Antonelli ed a P. Cecchi, validi collaboratori dei due inventori.

1.1 Padre Eugenio Barsanti

P. Barsanti ^[1] nacque a Pietrasanta (LU) il 12 ottobre 1821; suo padre Giovanni e la madre Angela Francesconi lo battezzarono con il nome di Niccolò, che poi fu cambiato in Eugenio dopo il suo ingresso, a diciassette anni, nell'ordine calasanziano. Fin dalla tenera età P. Barsanti mostrò una gracile costituzione.

Gli studi giovanili, iniziati all'età di sei anni, furono fatti nell'istituto che gli Scolopi avevano a Pietrasanta: questa scuola era stata aperta nel 1819 per volere di Ferdinando III di Lorena nel vecchio convento di S. Agostino. Fu durante questo periodo che scoprì la sua vocazione religiosa: lasciò, quindi, la sua città natale per raggiungere a Firenze l'Istituto Calasanziano al Pellegrino, fuor di Porta San Gallo, e perfezionarvi la sua formazione religiosa. Fece poi il noviziato a San Giovannino, a Firenze, dove si era trasferito il 17 luglio 1838: San Giovannino degli Scolopi è una modesta chiesa in via Martelli, che da il nome al caseggiato delle Scuole Pie. Queste scuole non erano del tipo comune bensì un centro di studi superiori, di carattere principalmente scientifico, voluto da Ferdinando II dei Medici fin dal 1630, a lato dell'antico Studio fiorentino; esse furono sempre rette da uomini di grande valore: al tempo di P. Barsanti il Rettore era Padre Inghirami.

La congregazione degli Scolopi, in cui entrò a far parte P. Barsanti, era stata fondata nel 1617 da Giuseppe Calasanzio ed elevata ad ordine religioso nel 1621; soppressa nel 1648 fu completamente ristabilita nel 1669. I Padri Scolopi si stabilirono a Firenze fin dal 1630 ed alcuni di loro, incoraggiati dallo stesso Padre

Fondatore, furono vicini a Galileo: uno di loro, Clemente Settimi, lo assistette, ormai cieco, come segretario in Arcetri. Così come gli studiosi dell'Accademia del Cimento, creata dai discepoli di Galileo, dettero impulso al "metodo sperimentale", facendo proprio il motto "provando e riprovando": P. Barsanti nei suoi studi considerò sempre inderogabile l'esperimento.

Grazie alle eccezionali qualità dimostrate nel campo scientifico, soprattutto nella matematica e nella fisica, e grazie alla sua facilità di apprendere e di esporre in termini semplici le nozioni acquisite, P. Barsanti era già nel 1841, all'età di vent'anni, insegnante di queste materie e di filosofia presso il Collegio di S. Michele delle Scuole Pie a Volterra. Si deve ricordare che dal 1803 al 1809 il Collegio di San Michele ebbe tra i suoi alunni Giovanni Mastai Ferretti, il quale diventerà poi Papa con il nome di Pio IX: a lui P. Barsanti indirizzerà una famosa lettera, che commenteremo successivamente. Le classi alle quali era rivolto l'insegnamento di P. Barsanti possono essere paragonate, per ordinamento di studi, a quelle di un liceo classico. Egli aveva a disposizione per le sue lezioni un laboratorio di fisica nel quale gli apparecchi e gli strumenti erano stati in gran parte fabbricati da lui stesso; fu in quel periodo che nacquero le prime idee per la costruzione del motore ed iniziarono i primi studi.

Nonostante gli studi sul motore impiegassero molto del suo tempo, P. Barsanti non dimenticò, né trascurò, i suoi doveri religiosi e la sua attività didattica: nel 1845, da poco ordinato sacerdote, tenne il sermone per la Festa del Fondatore; nel 1850 ebbe l'incarico della predicazione domenicale ai ragazzi e di predicare la novena di Natale; dal 1849 al 1857 fu prima aiutante del Presidente e poi lui stesso Presidente della Congregazione della Madonna della Neve, Congregazione alla quale si iscrivevano molti degli alunni, tanto che le varie pratiche venivano divise in più turni; dal 1848 al 1857 fu revisore dell'amministrazione della casa, di cui fu Segretario nel biennio 1851 e 1852; per due periodi, di tre anni ciascuno, fu esaminatore degli studi filosofici e teologici dei chierici scolopi; nel 1857 fece parte della Commissione per la riforma degli studi istituita dal Capitolo Provinciale.

Nel 1849 P. Barsanti si trasferì a Firenze dove era stato chiamato come insegnante nella scuola di S. Giovannino; successivamente divenne Lettore di meccanica ed idraulica all'Istituto Ximeniano: in quest'ultime scuole, che avevano grado universitario, fu suo allievo Giosuè Carducci ^[2].

Nel 1851 iniziò la collaborazione, sostenuta sempre da fraterna amicizia, fra P. Barsanti e Matteucci; i due inventori si conoscevano già da prima, ma fino al

dicembre del 1850 fra di loro vi era stata solamente una semplice e cerimoniosa conoscenza: questo risulta da una lettera di P. Barsanti, datata 8 dicembre 1850, in cui, fornendo quei ragguagli che gli erano permessi come membro della commissione per l'esame dei progetti di prosciugamento del lago di Bientina, presentati alla scelta del Governo Granducale, si rivolge a Matteucci in una stesura burocratica, usando il "lei" e firmandosi col suo nome intero. Tale progetto fu poi, per motivi estranei al suo valore intrinseco, scartato dalla commissione.

Fu quindi il progetto sul lago di Bientina che fece nascere l'amicizia fra i due studiosi e fu probabilmente grazie ad esso che il Padre Scolopio vide nell'amico il miglior collaboratore per la realizzazione pratica delle sue idee: P. Barsanti mise in comune l'idea e Matteucci il contributo pratico delle sue conoscenze nella meccanica.

Quanto fosse grande il legame di amicizia e di stima di P. Barsanti verso Matteucci lo dimostra una nota, apparsa sul giornale ufficiale "Il Monitore Toscano" del 16 gennaio 1858, n°12 pag. 3, in cui il Padre Scolopio scriveva ^[3]:

"Nell'almanacco etrusco del corrente anno all'articolo: "Invenzioni e Scoperte" pag. 336 viene attribuita esclusivamente al sottoscritto una nuova scoperta per la quale verrebbe sostituita la forza di un gas a quella del vapore.

L'invenzione della quale si tratta, che veramente consiste nell'impiegare la detonazione di una mescolanza gassosa a produrre una forza motrice da sostituirsi al vapore, appartiene in comune nella sua origine e nel suo progressivo sviluppo al sottoscritto ed al suo amico Sig. Felice Matteucci di Firenze¹, valente cultore delle scienze fisico matematiche.

Tanto dichiaro per debito di giustizia.

Prof. Eugenio Barsanti d. S. P."

Questa nota era stata scritta in risposta ad un articolo apparso sull'Almanacco Etrusco, in cui si attribuiva al solo Padre Scolopio la paternità dell'invenzione.

A conferma dell'effettivo contributo alla realizzazione del motore da parte di Matteucci vi è una lettera (let. n°1), datata 20 gennaio 1863, del vice Presidente della Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci (tale società era stata costituita nel 1860 dai due inventori, che ne erano anche i direttori tecnici, per lo sfruttamento commerciale della loro invenzione), Marchese Lottaringo Della Stufa, in cui si riconosce la partecipazione dello studioso al concepimento di tutte le

¹ Nell'articolo Matteucci è detto di Firenze in quanto a quei tempi viveva quasi sempre in quella città.

macchine fino a quel giorno costruite per conto della Società. Questa lettera era stata scritta in risposta alla richiesta del 18 Dicembre 1862 fatta da Matteucci di dimettersi da Direttore tecnico della Società a causa delle cattive condizioni di salute nelle quali versava. Dopo le dimissioni di Matteucci, a capo della Direzione rimase allora solo P. Barsanti, che si assunse tutto il lavoro.

Da una lettera (let. n°2) inviata da P. Barsanti a Matteucci nel 1854 possiamo supporre che gli studi e gli esperimenti avvenissero anche in casa di quest'ultimo, poiché ad essi partecipava la moglie Giulia.

Un'altra prova della collaborazione e del perfetto accordo fra i due studiosi può essere rilevato dalla lettera (let n°3) mandata il 30 settembre 1857 da P. Barsanti all'amico; in essa cogliamo la frase: *"bisogna contentarsi di ciò che abbiamo studiato insieme"*.

Altra lettera che conferma la collaborazione fra i due studiosi, oltre a fornire informazioni sui loro motori, è quella (let. n°4) mandata il 19 marzo 1862 da P. Barsanti a Matteucci.

Inoltre in alcuni appunti di Matteucci, destinati al giornale "La Nazione" del 1864, ma poi non pubblicati su di esso, scritti a rettifica e completamento del resoconto di un'adunanza della Società del 2 giugno di quell'anno, si può vedere lo sfogo dello studioso contro quelli che non avevano avuto un pensiero troppo riconoscente per la memoria dell'amico, che tanto aveva dato per il motore e la Società, e che volevano togliere a Matteucci il merito dell'impresa; in essi si legge: *"Che esso² non menti quando per ottenere il brevetto inglese dovè asserire lealmente sul suo onore che esso insieme al collega era veramente uno degli inventori del Motore, di cui si domandava il privilegio, che ha centinaia di testimoni viventi, e specialmente nei Padri Scolopi, delle parti da lui ideate della macchina e più che altro nell'onorevole P. Antonelli"*.

Gli anni che andarono dal 1851 al 1864, anno in cui morì P. Barsanti, furono molti intensi dal punto di vista dello studio della nuova macchina: dimostrazione di questo sono le numerose soluzioni tecniche ideate ed i motori costruiti di cui parleremo successivamente.

P. Barsanti, assistito dal fratello Luigi, morì a Searing, in Belgio, il 19 aprile per un attacco di tifo che lo aveva colpito il 30 marzo. Fu assistito spiritualmente da un

² Matteucci

gesuita italiano di Liegi. Il giorno dei funerali le Officine Cockerill rimasero chiuse e gli operai presero parte al trasporto.

La salma di P. Barsanti giunse il 24 maggio 1864 per via mare a Livorno e da lì fu trasportata a Firenze. A Pietrasanta, nella chiesa dei Padri Scolopi, la mattina del 10 giugno 1864 si radunò un gran numero di persone fra amici ed ammiratori per tributare alla memoria del loro amico e concittadino solenni onoranze funebri. Il corpo di P. Barsanti rimase sepolto nella villetta della "Rosa" a Campiobbi, per esserne poi esumato, in quanto la villetta venne venduta dagli Scolopi, il 21 giugno 1910 e trasportato a Firenze dove venne deposto nella cripta di San Sebastiano, nei sotterranei di S. Giovannino, ove riposano anche i PP. Inghirami, Del Ricco, Canovai, Giorgi e Bernardini. Il 24 ottobre 1954, nel centenario dell'invenzione del motore, la salma di P. Barsanti fu trasportata da S. Giovannino in S. Croce, la chiesa fiorentina che accoglie i Grandi Italiani. A Pietrasanta, nella Chiesa di S. Agostino, fu collocato nel 1933, a ricordo di P. Barsanti, un busto del Padre Scolopio, opera dello scultore Leone Tommasi, con una semplice epigrafe.

Tale busto, successivamente, è stato trasportato sulla tomba dell'Inventore, in Santa Croce, per iniziativa del versiliese P. Mario Franchi, sovrintendente dell'Opera di Santa Croce, e del Sindaco di Pietrasanta Moreno Giovannini. Di conseguenza la chiesa di Pietrasanta è rimasta priva dell'immagine dello scienziato. Con lodevole iniziativa i figli di Leone Tommasi, Marcello, Paolo e Riccardo hanno pensato di fondere una copia del busto a suo tempo donato ai fiorentini e di rimetterla al suo antico posto in S. Agostino. Dell'iniziativa ha approfittato il direttore del giornale versiliese "Versilia Oggi", Giorgio Giannelli, che ha chiesto ed ottenuto di fondere a proprie spese un'altra copia del busto che, nel Dicembre del 1995, è stata posta a Forte dei Marmi, sopra la Libreria Giannelli, all'angolo fra via Barsanti e via Mazzini.

Nonostante il suo amore per la scienza P. Barsanti rimase nel suo intimo un uomo profondamente religioso: lo spirito che lo animava è chiarito nella lettera indirizzata a Papa Pio IX (let. n°5), di cui si è fatto cenno precedentemente e che può considerarsi il suo testamento spirituale. In questa lettera, scritta nel febbraio del 1864, il Padre Scolopio chiedeva la Benedizione Apostolica e nello stesso tempo manifestava quale fosse stato lo spirito che lo aveva guidato nelle sue ricerche ^[4]; vi traspare, poi, la sua preoccupazione di fare un qualcosa di utile per il bene degli uomini ponendo a loro disposizione una macchina che avrebbe potuto distrarli sempre di più dalla vita contemplativa, esaltando in loro quella concezione materialistica che le filosofie del tempo stavano diffondendo: egli sembra chiedere di

non venire incolpato per i guai che un uso indiscriminato ed incontrollato del motore avrebbe causato. Questa lettera è molto importante perché costituisce un esempio del conflitto che tante volte ha diviso scienza e fede.

1.2 Felice Matteucci

Matteucci ^[5] nacque a Lucca il 12 febbraio 1808; suo padre era Luigi Matteucci, che fu primo ministro del Principato Lucchese di Elisa Baciocchi e la madre Angiola era una nobile Tolomei-Albiani di Pietrasanta. Fin da giovane si distinse per l'impegno negli studi: questo convinse suo padre a mandarlo a studiare, all'età di sedici anni, nel Reale Collegio Borbonico di Parigi dove ben presto si distinse nella filosofia e nella matematica. Verso la fine del 1825 Matteucci ritornò in Italia per completare i suoi studi e dedicarsi, successivamente, alla ricerca scientifica. I suoi primi interessi furono diretti verso problemi idraulici: all'età di ventisette anni concepì il disegno di un prosciugamento del lago di Bientina. Egli fu anche impiegato del Comune di Firenze, ma a causa del suo carattere pacato e soprattutto dei suoi interessi scientifici, non fece alcuna carriera.

La moglie di Matteucci si chiamava Giulia ed era una nobildonna essendo figlia del Marchese Bernardino Ramirez di Montalvo, patrizio fiorentino, e di Anna dei Baroni Spannocchi di Siena. Essa si interessò sempre al lavoro del marito come appare evidente dalla lettera n°2, citata precedentemente; fu autrice di libri quali "Storia Sacra" e "Storia d'Italia"; inoltre fu un'appassionata ammiratrice del Giusti e del Manzoni al quale era legata da amichevoli relazioni di famiglia.

I coniugi Matteucci ebbero quattro figli: Luigi, che fu ufficiale di cavalleria e prese parte alla campagna del 1866, venendo fregiato della medaglia al valor militare; Ferdinando, che fu milite garibaldino ed in seguito intraprese la carriera di avvocato; Eleonora, che sposò un Fanelli; Francesco, che fu deputato al Parlamento italiano per il collegio di Capannoli (Lucca).

Dopo la morte di P. Barsanti, Matteucci, con la collaborazione di G. B. Babacci ³, continuò gli studi sui possibili miglioramenti da apportare al motore; nel 1865 essi studiarono un nuovo tipo di motore igneo-pneumatico a doppio effetto.

³ G. B. Babacci era uno studioso associatosi ai due inventori agli inizi del 1857; del suo contributo all'invenzione parleremo nel quarto capitolo.

Da una corrispondenza del 1865 tenuta con l'Avv. Raggio emerge come Matteucci cercasse di sostituire nel raffreddamento dei motori all'acqua una corrente d'aria e come persistesse ancora nell'idea di una possibile adozione della sua macchina sulle locomotive. Su quest'ultima soluzione l'Avv. Raggio si mostrò contrario avvalorando la sua tesi con dei calcoli che dimostravano come non ci fosse alcuna convenienza economica a sostituire il vapore: concludeva, pertanto, che questa invenzione non avrebbe mai trovato applicazione sui treni.

Dopo l'apparizione del motore di Otto e Langen, avvenuta nel 1867, Matteucci tentò ripetutamente di far riconoscere la priorità dell'invenzione sua e del suo amico senza, però, ottenere un qualche successo: ricordiamo un tentativo fatto nel 1873 insieme ad un collegio di ingegneri e professori. Nel 1877, poi, scrisse all'Ing. Giovanni Sacheri, Direttore del periodico tecnico mensile "L'Ingegnere Civile e le Arti Industriali", affinché se ne parlasse nella sua rivista: il Sacheri gli rispose che dopo l'Esposizione di Parigi, nel supplemento dell'Enciclopedia Popolare Italiana, avrebbe rivendicato la priorità dell'invenzione italiana.

Matteucci tornò agli studi di idraulica relativi ai miglioramenti da apportare al lago di Bientina dopo che nel 1866 fu sciolta la Società da lui costituita con P. Barsanti. A seguito della rottura dei corsi d'acqua del Bisenzio e del Marina, pubblicò nella "Gazzetta d'Italia" n°8 del marzo 1873 un articolo su "Le inondazioni ed i ponti" e, sempre nello stesso anno, tenne un discorso al Congresso degli Scienziati a Roma sui pluviometri e idrometrografi da lui stesso inventati. Inoltre, sempre nel 1873, fu costruito presso l'Officina Galileo di Firenze un suo idrometrografo che il Ministero dell'Agricoltura fece porre a Roma per misurare le acque del Tevere. Nel 1875 al Congresso degli Architetti e Ingegneri Italiani presentò una memoria sugli sfioratori a stramazzo per moderare le piene dei fiumi; nel 1876, occupandosi di prosciugamenti, fece alcuni viaggi in Inghilterra, Germania ed Olanda; per incarico del Collegio degli Ingegneri ed Architetti di Firenze scrisse due relazioni, nel 1878 una sul lago di Bientina e nel 1883 un'altra "*sui criteri che debbono determinare la scelta fra i diversi sistemi di bonificazione*".

Matteucci nel corso della sua esistenza ebbe a soffrire di esaurimenti nervosi che lo costrinsero ad interrompere la sua attività: l'ultimo di questi, che lo colpì negli ultimi anni, lo tormentò fino alla sua morte avvenuta il 13 settembre 1887 nella sua casa di Vorno (Lu). Il Matteucci fu sepolto nella sua cappella domestica a Campi Bisenzio.

1.3 Padre Giovanni Antonelli

P. Antonelli ^[1], nato a Candeglia (PT) il 10 gennaio 1818 e morto a Firenze il 14 gennaio 1872, fu astronomo e fisico; di umili origini, entrò a far parte degli Scolopi fin dal 1834 e, a partire dall'anno 1851, ricoprì la carica di Direttore dell'Istituto Ximeniano, succedendo a P. G. Inghirami. P. Antonelli fu anche docente nel collegio vescovile di Cortona; nel 1844 si trasferì a Firenze dove svolse inizialmente un'attività di supplente per l'insegnamento della matematica in sostituzione di P. Inghirami, nominato vicario generale dell'Ordine e trasferitosi a Roma. P. Antonelli fu socio dell'Accademia dei Georgofili; inoltre fu insignito della onorificenza di cavaliere dei SS. Maurizio e Lazzaro e fu provinciale del suo Ordine in Toscana.

P. Antonelli fu autore di interessanti memorie sulla meteorologia e sui barometri statici; in campo astronomico, attraverso lunghi e difficili calcoli, egli anticipò di vari mesi la scoperta visiva di Sirio, fatta da Clarke il 13 gennaio 1862. Inoltre ripeté con P. Cecchi l'esperienza di Foucault usando un pendolo lungo 90 metri con una palla di 33 Kg. Dopo la morte di P. Inghirami, revisionò la triangolazione geodetica della Toscana. Nel 1855 pubblicò a Firenze uno studio sull'applicazione del concetto di infinito e di infinitesimale nel calcolo differenziale.

Fra le molteplici attività da lui svolte dobbiamo ricordare anche quella di progettista di ferrovie che iniziò nel 1846 con dei lavori sulla linea Firenze-Faenza e che continuò sempre nel corso degli anni, concludendosi con degli studi sulla linea Lucca-Modena: quanto ora detto ci fa comprendere meglio l'interesse che ebbe a mostrare per il problema della trazione a motore. P. Antonelli assunse, insieme a P. Cecchi, la direzione tecnica della Società del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci alla morte di P. Barsanti. E' anche da ricordare che P. Antonelli collaborò con P. Barsanti alla stesura di un trattato di matematica a carattere didattico; insieme essi progettaronò anche una macchina per un più completo sfruttamento della forza vapore.

P. Barsanti trovò in P. Antonelli, oltre che un collaboratore, anche un sincero amico, che lo incoraggiò sempre, fin da quando iniziò le sue prime esperienze a Volterra.

1.4 Padre Filippo Cecchi

Un altro Padre Scolopio, che fu vicino negli studi a P. Barsanti e Matteucci, fu P. Cecchi ^[1]; questi nacque a Borgo Buggiano in Val di Nievole (LU) il 31 maggio 1822 e morì a Firenze il 1 maggio 1887. All'età di diciassette anni entrò nella Congregazione delle Scuole Pie; nel 1842 già insegnava in una scuola ad Urbino, dove rimase per due anni prima di ritornare a Firenze. Nel 1845 inaugurò la scuola di fisica a Volterra e nel 1848 tornò a Firenze per prendere il posto di P. Tanzani nella cattedra di fisica, cattedra che tenne fino alla sua morte. P. Cecchi fu anche professore di fisica nell'istituto della SS. Annunziata al Poggio Imperiale. Inoltre, nel 1861, divenne sostituto e, successivamente, nel 1864, successore di P. Barsanti alla cattedra di meccanica ed idraulica. Alla morte di P. Antonelli divenne Direttore dell'Osservatorio Ximeniano, del quale riordinò e completò l'impianto meteorologico e fondò il gabinetto sismologico, in cui si utilizzavano sismografi da lui stesso inventati. P. Cecchi, dotato di spiccata genialità meccanica, si dedicò nei suoi studi anche al perfezionamento del motore a gas e della macchina a vapore.

Molteplici furono i suoi lavori scientifici: possiamo ricordare *Il barometro aerometrico a bilancia della Loggia dell'Orcagna in Firenze* (Firenze 1862); inoltre si interessò alla costruzione di elettrocalamite; fece anche degli studi sui parafulmini ed ebbe l'incarico di rinnovarli e di porne di nuovi sulla cupola di S. Maria del Fiore a Firenze. P. Cecchi si occupò anche di chimica scrivendo nel 1869 il trattato *Nozioni elementari di chimica*.

Capitolo 2

Conoscenze scientifiche al tempo dell'invenzione

Prima di iniziare l'analisi dell'invenzione di P. Barsanti e Matteucci vediamo brevemente quale era lo sviluppo raggiunto dai settori della scienza attinenti con le ricerche sulla nuova macchina ^[6, 7].

All'inizio del XIX secolo il termine "energia", sebbene fosse utilizzato da molto tempo, non aveva ancora trovato una sua definizione precisa: con esso, nel 1807, T. Young indicò il prodotto mv^2 , mentre scienziati quali Carnot e Helmholtz si riferivano ad esso quando parlavano rispettivamente di *puissance motrice* (potenza motrice) e *Erhaltung der Kräfte* (conservazione della forza). Si dovette aspettare il 1852 per avere, grazie a W. Thomson, la definizione di tale termine.

Notiamo inoltre che il principio di equivalenza fra lavoro e calore, enunciato nel 1842 per primo dal medico tedesco Julius Robert Mayer, di nuovo espresso e precisato nel 1847 da Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, fu avvalorato e precisato, con la determinazione dell'equivalente meccanico della caloria, nel 1847 da James Prescott Joule; esso era stato intuito anche da Carnot, il cui lavoro, purtroppo, fu pubblicato solo nel 1878, molti anni dopo la sua morte.

Mayer scrisse i risultati dei suoi primi studi in un articolo intitolato *Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur* (Osservazioni sulle forze della natura inanimata) e pubblicato sulla rivista *Annalen der Chemie und Pharmacie* nel 1842, dopo essere stato precedentemente respinto dalla rivista *Annalen der Physik*. Questo articolo, pur essendo molto confuso nel linguaggio e con alcuni errori di meccanica, è importante poiché fornisce un primo valore, anche se non corretto, dell'equivalente meccanico della caloria. Tale valore fu trovato da Mayer calcolando la differenza tra il calore specifico a pressione costante e quello a volume costante nel caso di un gas perfetto, attraverso misure caloriche e meccaniche: egli ottenne che una caloria era uguale a 3,19 J (il valore odierno è di 4,184 J).

Un valore più preciso per l'equivalente meccanico della caloria, ottenuto attraverso rigorosi esperimenti, fu dato da Joule nel 1847: egli calcolò che una caloria

corrispondeva a 4,39 J. Nel 1847 Helmholtz scrisse il suo saggio *Über die Erhaltung der Kräfte* (Sulla conservazione della forza); rispetto all'articolo di Mayer in questo abbiamo una trattazione dell'argomento più comprensibile, anche se in essa prevaleva il carattere teorico su quello sperimentale.

E' opportuno ricordare che solo nel 1840 era stata enunciata da Hess ⁴ la legge fondamentale della Termochimica ("L'effetto termico complessivo che accompagna una trasformazione chimica qualsiasi è indipendente dagli stadi intermedi che si susseguono, nella trasformazione stessa, ma dipende esclusivamente dallo stato iniziale e finale che caratterizza il fenomeno") anche se essa non era stata ancora del tutto approfondita e generalizzata. Si può quindi pensare che al tempo delle ricerche di P. Barsanti e Matteucci tali nuovi principi non avessero ancora trovato applicazioni pratiche che fossero di valido aiuto ai due studiosi: l'utilizzazione del concetto di energia e dei vari principi era legata non solo alla conoscenza delle loro formulazioni, ma anche alla disponibilità di costanti accuratamente determinate. Nel Manoscritto Ximeniano troveremo usata ancora la parola forza al posto di energia: infatti vi si afferma che la forza esplosiva poteva essere regolata nei suoi effetti dinamici costringendone una parte oppure anche la totalità a trasformarsi in calorico. Traspare chiaro, comunque, al di là dei termini usati, il concetto di una equivalenza fra energia termica ed energia meccanica.

Per renderci maggiormente conto dello stato di diffusione e di applicazione dei principi della termodinamica riportiamo alcuni passi del discorso tenuto nel gennaio 1853 al Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti dal Prof. L. Magrini ⁵ in commemorazione di Luigi De Cristoforis. I passi ^[9] che andiamo a citare si riferiscono alla proposta, fatta dal De Cristoforis, di costruire una motrice a combustione con precompressione e combustione fuori del cilindro motore:

"Ciò diede l'occasione al Professor Belli di stendere negli ultimi anni della sua vita una dottissima Memoria su questo interessante argomento, Memoria inedita di cui io possiedo l'autografo.

⁴ Germain Henry Hess (1802-1850) ^[8] si deve considerare il padre della Termochimica per la scoperta della legge che porta il suo nome; sebbene espressa nel 1840, questa legge fu presa in considerazione nello studio delle reazioni chimiche solo dopo le ricerche di J. Thomsen (1854) e di M. Berthelot (1867).

⁵ Il Prof. L. Magrini fu uno dei tre commissari che giudicarono, premiandolo, il motore presentato da P. Barsanti e Matteucci nel 1863.

In questo suo lavoro, il Belli istituisce un parallelo fra gli effetti meccanici ottenibili dalla perfetta combustione del carbone, impiegando i gas medesimi risultanti, e gli effetti generati dal vapor acqueo, supponendo che anche in questo secondo caso la combustione siasi procurata nel modo più perfetto possibile; e che, tanto nell'uno quanto nell'altro caso, il calorico ottenuto dalla combustione non sia sensibilmente portato via dalle pareti del fornello.

Assoggettati quindi al calcolo gli effetti ottenibili dalle forze elastiche dei gas e del vapor acqueo, Belli chiude il suo lavoro legittimando la speranza che il progetto di De Cristoforis possa riuscire, senza però che ne risulti una piena sicurezza; giacché non gli era sfuggita la possibilità di utilizzare la dilatazione dei gas senza impedire l'ingresso del comburente, difficoltà tuttavia superabile con qualche espediente meccanico.

Ammessa inoltre la convertibilità del calorico in forza viva, e viceversa, dottrina semplicissima nei suoi principi generali, ma non ancora abbastanza comoda a maneggiarsi nelle diverse applicazioni particolari, da una data quantità di calorico impiegato si deve sempre ottenere, qualunque sia il modo di usarlo un medesimo effetto meccanico misurando questo effetto dal prodotto di un peso sollevato per l'altezza a cui è stato recato."

Sebbene il secondo principio della termodinamica avesse avuto una sua prima enunciazione nel 1824 ad opera di Sady Carnot (L'opera di Carnot passò quasi inosservata ed al suo tempo non era stata ancora chiarita la corrispondenza tra calore ed energia e si ragionava sempre in termini di fluido calorico: solo successivamente egli intuì la natura energetica del calore, come lo provano alcuni scritti trovati dopo la sua morte. Fu merito di Clausius, trent'anni più tardi, di imporre l'intuizione di Carnot all'attenzione degli scienziati, dandole migliore forma matematica e sottolineandole l'importanza teorica e pratica e la portata generale che la rendeva applicabile a qualsiasi fenomeno fisico in cui sia in gioco il calore.), in questi passi ci si riferisce solo al primo principio; inoltre il Magrini parla di difficoltà di utilizzazione di esso in quanto si era ai primi tentativi di applicazione.

Il non poter utilizzare come strumenti di ricerca i principi della termodinamica a causa della loro mancata conoscenza, non permise a P. Barsanti e Matteucci di dare una corretta interpretazione ai fenomeni osservati nel corso delle loro esperienze.

Un'altra lacuna, che probabilmente si rivelò ancora più grave, fu la mancanza di conoscenza delle leggi della cinetica chimica. Le esperienze sulla ricerca della migliore miscela detonante, sebbene fossero state molto accurate, erano state

compiute considerando la combustione come un fenomeno integrale ed istantaneo in presenza delle corrette proporzioni teoriche di combustibile e comburente. Una miglior conoscenza del fenomeno avrebbe consentito di ottenere una migliore combustione e, conseguentemente, come vedremo nel quinto capitolo, rendimenti migliori; ma, purtroppo, i due studiosi non erano in grado di individuare i mezzi per apportare i miglioramenti necessari.

Quindi abbiamo da una parte un insufficiente sviluppo della termodinamica tecnica che non permetteva un'analisi del ciclo e dall'altra una mancata conoscenza delle leggi della cinetica chimica che impediva di ottenere una combustione più completa: tutto questo veniva ad abbassare i rendimenti.

La distinzione fra calore e temperatura era al tempo delle ricerche di P. Barsanti e Matteucci ormai chiara; nel secolo precedente Joseph Black dette un notevole contributo allo sviluppo del concetto di quantità di calore: infatti egli introdusse i concetti di capacità termica, calore specifico e calore latente di fusione. I concetti introdotti da Black erano, però, ancora dominati dalla teoria del "flogisto", inventata da J. J. Becher e sviluppata da G. E. Stahl nel XVII secolo (si pensava che il flogisto fosse una sostanza, contenuta in tutti i corpi combustibili, che si liberava sia quando veniva bruciato materiale organico sia quando si riscaldavano i metalli); fu A. L. Lavoisier nella seconda metà del XVIII secolo, con i suoi studi sulle reazioni chimiche, a far cadere questa teoria. Secondo Lavoisier i fenomeni che si osservavano mescolando fra loro sostanze a temperature diverse potevano essere spiegati introducendo una sostanza imponderabile e indistruttibile, che chiamò calorico. Esisteva, comunque, anche un'altra teoria, assai precedente a questa (basti pensare che uno dei suoi sostenitori fu R. Boyle), secondo cui il calore aveva un'origine meccanica, ovvero era una specie di moto, probabilmente vibratorio; essa si basava soprattutto sull'osservazione del calore sviluppato per attrito. Tuttavia nonostante la diversità, queste due teorie coesisterono per molto tempo in quanto non presentavano alcuna contraddizione fra di loro.

L'idea di un'origine meccanica del calore fu avvalorata dalle osservazioni fatte da Benjamin Thompson, conte Rumford, verso la fine del XVIII secolo: dai risultati che egli ottenne si sarebbe potuto già avere un primo valore per l'equivalente meccanico della caloria (sarebbe risultato di 5,5 J/cal.). Un altro sostenitore di questa teoria fu H. Davy che la avvalorò con le sue esperienze. Egli fece vedere che due pezzi di ghiaccio, sfregati fra di loro, fondevano: essendo il calore specifico dell'acqua maggiore di quello del ghiaccio, questo fatto non poteva essere spiegato con la teoria

materiale del calore. Tuttavia la teoria materiale del calore aveva sempre dei validi sostenitori: fra essi ricordiamo Fourier che ne fa uso nel suo trattato sulla conduzione termica. Come si è visto si dovrà arrivare alla metà del XIX secolo, ovvero il periodo in cui si ebbero le ricerche di P. Barsanti e Matteucci, per vedere suffragata l'idea di un'equivalenza fra calore e lavoro.

Riguardo lo studio dei gas si deve dire che esso era arrivato già ad un buon punto: le leggi di Boyle e Gay-Lussac erano già note. Inoltre all'inizio del XIX secolo erano state studiate, soprattutto in Francia, molte proprietà termiche dei gas: nel 1802 fu trovato da Gay-Lussac che il coefficiente di dilatazione a pressione costante era uguale per tutti i gas e pari a $1/273$ nella scala Celsius delle temperature. Gay-Lussac scoprì anche che un gas che si espande nel vuoto non cambia di temperatura. Altro passo in avanti fatto in quel periodo fu la misura abbastanza buona dei calori specifici dei gas sia a pressione costante che a volume costante. Nel 1811 fu enunciata anche la legge di Avogadro, il cui valore fu pienamente compreso solo mezzo secolo dopo. Possiamo ricordare anche che Regnault, nel periodo compreso tra il 1840 ed il 1860, compì molti studi e misure su gas e vapori: ad esempio misurò con una certa precisione la tensione dei vapori saturi ed i calori specifici.

Non esaminiamo l'opera di Carnot in quanto i suoi studi vennero diffusi, come si è già detto, molti anni dopo la sua morte, avvenuta nel 1832.

Capitolo 3

L'idea del motore ed i primi tentativi di realizzazione

In questo capitolo viene descritto come nacquero in P. Barsanti le prime idee sul motore; si sottolinea l'importanza della collaborazione con Matteucci; si passa poi a parlare dei primi studi descrivendo gli apparecchi sperimentali usati e si fa un'analisi dei primi risultati ottenuti e descritti nella Memoria presentata all'Accademia dei Georgofili.

3.1 La nascita delle prime idee

Le prime idee di una macchina, che, utilizzando l'esplosione di una miscela gassosa provocata da una scintilla elettrica, potesse produrre una propulsione continua in modo più pratico della macchina a vapore, vennero a P. Barsanti a Volterra nel 1843 mentre effettuava con i suoi allievi delle esperienze sulla pistola di Volta⁶.

P. Barsanti si costruì artigianalmente la pistola di Volta; questo rudimentale apparecchio fu poi conservato nella Scuola Inghirami di Volterra e fece anche la sua comparsa, insieme ad altri cimeli, alla Prima Esposizione della Storia della Scienza tenutasi a Firenze nel 1929, attirando l'attenzione sia degli studiosi sia del Rappresentante del Governo, il Ministro Martelli, che fu anche l'oratore ufficiale.

⁶ La pistola di Volta è costituita da un cilindro, chiuso da una parte e tappato dall'altra, contenente un miscuglio di gas infiammabile ed aria il quale, con lo scoccare di una scintilla elettrica, si accende scoppiando: si ottiene così il lancio del tappo applicato all'estremità del cilindro. Volta chiamò questo apparecchio *pistola elettrico-flogo-pneumatica*, da essa scaturì poi uno strumento, molto più utile, che fu l'eudiometro (apparecchio per la determinazione quantitativa delle sostanze gassose che prendono parte ad una reazione chimica).

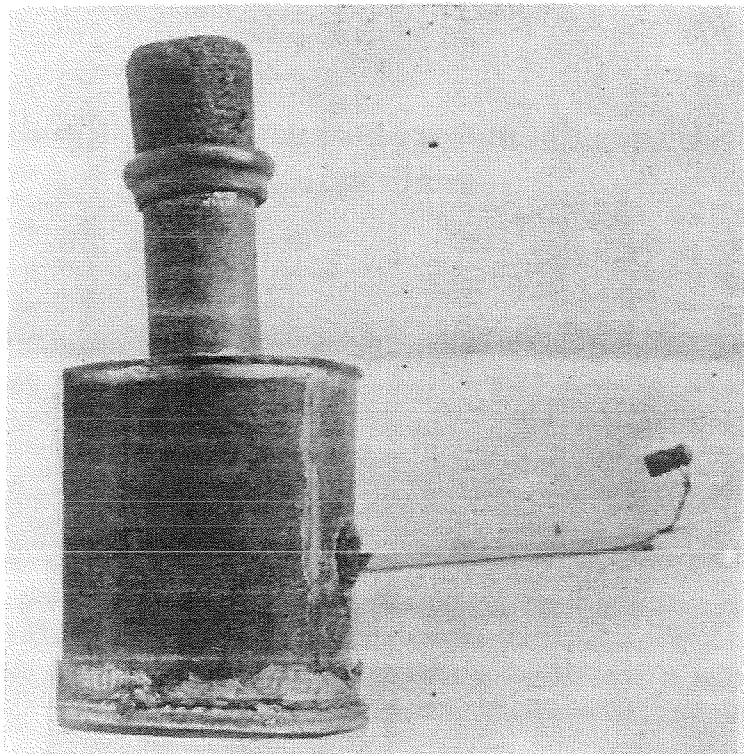


Fig. 1- La pistola di Volta costruita da P. Barsanti

L'apparecchio costruito da P. Barsanti, mostrato in Fig. 1 ^[10], era a forma di ellissoide, con delle grosse pareti di rame ed era munito di un lungo collo, tale da farlo assomigliare ad una bottiglia; il fondo era fatto di una membrana che si gonfiava a causa delle esplosioni fatte avvenire all'interno mediante scintille elettriche; un turacciolo di sughero chiudeva superiormente l'apparato ed aveva la funzione di valvola di sicurezza. P. Barsanti cercò di mettere a punto il suo apparecchio in modo da poter studiare e controllare il fenomeno: osservò che l'apparato si riscaldava al momento dell'esplosione ed inoltre tale riscaldamento era maggiore quando il turacciolo di sughero non veniva espulso e la membrana si spostava maggiormente. Il Padre scolopio riuscì a capire che la forza dell'esplosione poteva essere regolata nei suoi effetti dinamici per poterne ricavare un lavoro; inoltre

intui, anche se non ne dette alcuna formulazione fisica o matematica, una cosa molto importante: l'equivalenza fra l'energia termica prodotta e l'energia meccanica raccolta. Si deve ricordare che nel 1842 Mayer aveva scoperto la costanza del rapporto calore-lavoro, ma questo principio non era stato, ai tempi delle prime esperienze, ancora accettato dal mondo scientifico (lo fu solo dopo le esperienze di Joule del 1847): questo rese difficile a P. Barsanti non solo il giudizio ma anche l'interpretazione dei fenomeni che osservava durante i suoi esperimenti.

Durante gli anni trascorsi a Volterra P. Barsanti continuò i suoi esperimenti, tanto che la frequenza delle esplosioni, specialmente in ore notturne, fece correre voce che nel laboratorio del collegio si lavorasse all'invenzione di armi segrete: comunque, al di là dei vari aneddoti che si possono citare, le esperienze fatte lo condussero a delle interessanti osservazioni scientifiche che riferì ai suoi superiori (fra questi ricordiamo P. Antonelli), i quali lo incoraggiarono a proseguire nei suoi studi.

3.2 La collaborazione con Matteucci

A P. Barsanti mancavano le competenze di meccanica applicata necessarie alla pratica realizzazione della macchina: infatti il problema da risolvere non era soltanto di carattere fisico-chimico, ma anche e soprattutto di natura meccanica, in quanto si doveva concepire un meccanismo capace sia di rinnovare con la voluta frequenza e nella debita quantità l'introduzione del combustibile, di procedere all'accensione di questo e di effettuare con lo stesso ritmo lo scarico dei prodotti combusti, sia di trasformare in energia meccanica utilizzabile il movimento dello stantuffo. Lo sviluppo di questa fase poté aver luogo soltanto quando iniziò a Firenze, verso la fine del 1851, la collaborazione, sostenuta da una fraterna amicizia, con Matteucci.

L'importanza della collaborazione di Matteucci non deve essere affatto sottovalutata come qualcuno in certe occasioni ha fatto; infatti, senza le sue conoscenze di meccanica, le intuizioni di P. Barsanti sarebbero rimaste solo idee senza alcun seguito pratico. Il contributo che entrambi dettero all'invenzione deve quindi essere messo sullo stesso piano, anche se talvolta si tende a sottolineare solo il contributo di chi ha avuto l'idea.

3.3 I primi studi, gli apparecchi sperimentali costruiti ed i risultati ottenuti da P. Barsanti e Matteucci

L'apparecchio che P. Barsanti e Matteucci utilizzarono per i loro esperimenti era sostanzialmente un cilindro di ghisa munito di stantuffo e valvole: le ricerche erano indirizzate allo studio del comportamento dello stantuffo nelle corse di andata e di ritorno, alla realizzazione del modo di espellere i prodotti della combustione e alla determinazione della composizione della migliore miscela detonante.

In Fig. 2 è mostrato un diagramma pressione-volume, a carattere puramente qualitativo, del ciclo che i due inventori andavano realizzando ⁷. In esso vediamo una prima fase relativa all'introduzione della miscela detonante (linea *ab*) seguita dalla sua combustione che, a causa della velocità del fenomeno, è quasi istantanea (linea *bc*); segue l'espansione (linea *ce*) dovuta, per la prima parte (linea *cd*), all'espansione dei gas combusti, che si trovavano ad una pressione maggiore di quella esterna, e per la seconda parte (linea *de*) all'inerzia acquistata dallo stantuffo; l'arresto dello stantuffo era causato dalla depressione formatasi all'interno per la sovraespansione prodottasi; il ritorno dello stantuffo (linea *ea*) era causato nel primo tratto (linea *ef*) dalla differenza di pressione fra l'esterno e l'interno del cilindro e nel secondo tratto (linea *fa*), nel quale avveniva anche lo scarico dei gas combusti, dall'inerzia acquistata dallo stantuffo.

L'area racchiusa dal ciclo rappresenta il lavoro ottenuto nel ciclo: i due inventori cercarono, quindi, di trovare quelle soluzioni che avrebbero permesso di renderla massima. A tal fine P. Barsanti e Matteucci concentrarono i loro studi nella ricerca di rendere massimo il rapporto di espansione (rapporto fra il volume a fine espansione e quello della miscela detonante introdotta nel cilindro): questo significava una espansione dei gas più prolungata con uno spostamento del punto *e* verso pressioni minori e volumi maggiori. P. Barsanti e Matteucci ebbero il merito di capire che l'espansione più prolungata si otteneva quando lo stantuffo era libero nella corsa di andata: questo portò alla decisione, discussa nei capitoli successivi, di far trasmettere la forza motrice solo nella fase di ritorno utilizzando, l'energia potenziale accumulata durante l'andata.

⁷ L'analisi del ciclo verrà fatta con la dovuta precisione nel quinto capitolo.

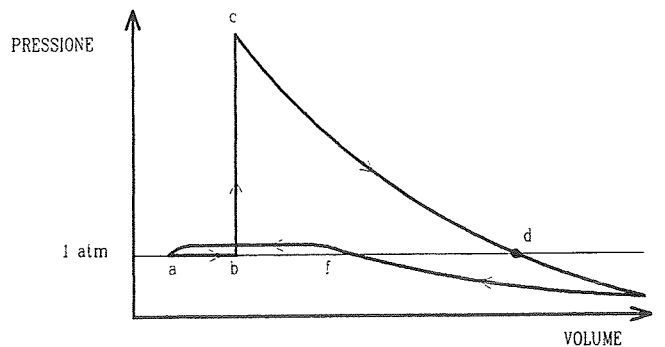


Fig. 2 - Diagramma qualitativo pressione-volume del ciclo realizzato dai due inventori.

Sulla base di queste prime esperienze i due inventori fecero delle osservazioni importanti: le velocità delle corse di andata e di ritorno dello stantuffo, quando questo era posto orizzontalmente e non risentiva quindi dell'influenza della forza di gravità, erano pressoché uguali; la forma e, soprattutto, la temperatura della camera di scoppio erano importanti per la combustione; si aveva un riscaldamento maggiore delle pareti del cilindro quando si applicavano delle resistenze⁸; la prima parte della corsa di andata dello stantuffo era dovuto alla forza espansiva dei gas combusti ed aveva la durata di 2/100 di secondo, mentre la seconda, dovuta alla quantità di moto acquisita dallo stantuffo medesimo, durava 5/100 di secondo.

Una delle preoccupazioni maggiori dei due inventori fu anche quella di prevedere le conseguenze di esplosioni troppo violente; infatti notarono che, quando la miscela detonante esplodeva, la macchina riceveva un forte contraccolpo: questo non avrebbe permesso la costruzione di motori di grande potenza. Il problema, come vedremo nel capitolo successivo, fu elegantemente risolto con la costruzione di motori a stantuffi concorrenti.

Riguardo agli apparecchi sperimentali, l'analisi della Memoria presentata all'Accademia dei Georgofili e del Manoscritto Ximeniano ci porta ad affermare che ne furono costruiti tre; si può, comunque, supporre che ne siano stati fatti degli altri

⁸ Questo era dovuto al fatto che la combustione era più completa (si veda il quinto capitolo).

data la minuziosa ricerca dei due inventori volta a trovare la migliore soluzione meccanica.

In Fig. 3 è mostrato lo schema un primo rudimentale apparecchio; esso era costituito da un cilindro di ghisa disposto orizzontalmente e lungo un metro, che internamente presentava un diametro di 10 cm., per una lunghezza di 90 cm., ed un diametro di 5 cm., per la parte rimanente. Nella sezione più larga, aperta alla sua estremità, scorreva lo stantuffo mentre nell'altra, chiusa con un fondo sempre in ghisa e munito di una valvola di aspirazione, avveniva lo scoppio della miscela esplosiva tramite scintilla elettrica. I due inventori portavano lo stantuffo a contatto della cavità più piccola, che possiamo chiamare camera di scoppio, e, dopo aver fatto esplodere la miscela, osservavano il suo moto: essi videro che questo veniva inizialmente lanciato verso l'estremità aperta, senza però fuoriuscire, e quindi tornava indietro fin quasi al punto di partenza, dove compiva delle piccole oscillazioni prima di fermarsi. L'interpretazione data a questo fenomeno fu quella che la corsa di andata era provocata dall'esplosione e l'arresto ed il ritorno dello stantuffo erano da imputarsi alla situazione di rarefazione prodotta dall'esplosione stessa; il movimento oscillatorio che si aveva al termine della corsa di ritorno lo attribuirono alla compressione che subivano i gas combusti: queste deduzioni rispecchiano quello che in effetti avveniva. Lo scarico dei gas, il posizionamento iniziale dello stantuffo, l'introduzione della miscela detonante e la relativa accensione venivano fatti manualmente.

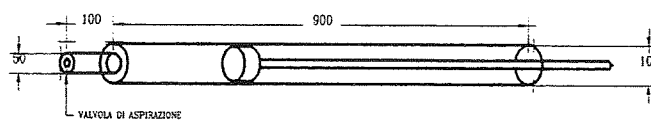
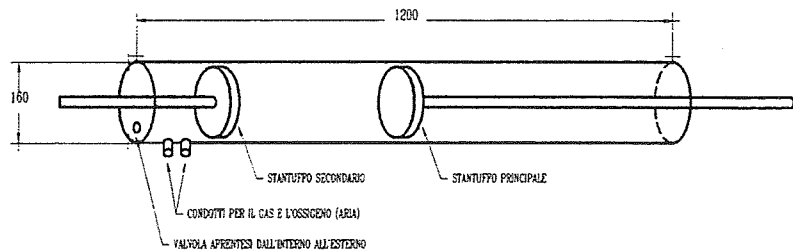


Fig. 3 - Schema di un apparecchio sperimentale costruito dai due inventori

Possiamo notare che in questo primo modello sperimentale, così come in quello successivo, il cilindro era disposto orizzontalmente, mentre i motori che furono costruiti, salvo le versioni a stantuffi concorrenti, presentarono una struttura verticale che permise di accumulare una parte di energia per gravità: per questo motivo i motori Barsanti e Matteucci sono spesso definiti gravio-atmosferici. La ragione per cui P. Barsanti e Matteucci preferirono successivamente disporre il cilindro verticalmente va ricercata, probabilmente, nel fatto che essi si accorsero che il peso dello stantuffo avrebbe favorito il rapido scarico dei gas della combustione ed avrebbe assicurato il ritorno completo dello stantuffo, in quanto il suo peso andava a vincere la contropressione prodotta dai residui della combustione quando lo scarico era aperto. Quando verrà esaminato nel quinto capitolo il diagramma pressione-volume di uno dei primi motori Otto e Langen potremo notare tale contropressione, anche se minima, nel momento dello scarico; il peso dello stantuffo risultava quindi utile in quella fase. Nel quinto capitolo vedremo anche l'influenza del peso dello stantuffo sulla combustione.

Purtroppo l'apparecchio sperimentale descritto non permetteva misure accurate della quantità di combustibile introdotto ed inoltre vi erano dei problemi al momento in cui doveva essere ripulito dai gas di scarico: fu quindi necessario costruirne uno



nuovo.

Fig. 4 - Schema di un successivo apparecchio sperimentale costruito dai due inventori

Questo secondo apparecchio, rappresentato in Fig. 4, era costituito da un cilindro lungo 120 cm. con un diametro interno di 16 cm.; internamente scorrevano due stantuffi contrapposti: uno, denominato stantuffo principale, era quello che veniva spinto al momento dell'esplosione e l'altro, denominato stantuffo secondario o

controstantuffo, serviva a regolare la quantità di miscela detonante introdotta nella camera di scoppio. Il funzionamento era in pratica il seguente: inizialmente i due stantuffi erano a contatto; veniva poi spostato il controstantuffo in modo da aspirare, attraverso due condotti (uno per il gas e l'altro per l'aria o l'ossigeno puro) la miscela detonante che si desiderava introdurre; terminata questa operazione veniva incendiato il gas tramite la scintilla prodotta dall'apparecchio di De La Rive⁹; dopo che lo stantuffo principale aveva effettuato la corsa di andata e quella di ritorno, i gas combusti venivano espulsi dal controstantuffo attraverso una valvola a prentesi dall'interno all'esterno. Questo nuovo apparecchio si mostrò subito migliore del precedente permettendo di fare delle misure più precise sul tipo e sulle proporzioni della quantità di miscela detonante da usare: comunque un'analisi dei risultati ottenuti è a questo punto prematura e verrà quindi fatta nei capitoli successivi in modo da dare ad essi il risalto che effettivamente meritano.

Nella Memoria presentata all'Accademia dei Georgofili troviamo descritto un altro apparecchio sperimentale, che, a differenza di quello ora descritto, presentava un solo stantuffo. Poiché il paragrafo successivo analizza questa Memoria rimandiamo ad esso qualsiasi commento su questo apparecchio e sui risultati conseguiti.

3.4 Memoria presentata all'Accademia dei Georgofili

Nella seduta del 5 giugno 1853 fu consegnato da parte dei due inventori all'Accademia dei Georgofili a Firenze un plico, il quale avrebbe dovuto essere aperto successivamente, su loro richiesta, per rendere noto il suo contenuto. Il plico venne, di fatto, aperto dieci anni più tardi, nell'adunanza ordinaria del 20 settembre 1863, ed il suo contenuto fu pubblicato negli Atti dell'Accademia stessa.

Essendo gli studi sul motore arrivati ad un buon punto ed avendo ottenuto anche dei buoni risultati dai loro esperimenti P. Barsanti e Matteucci decisero di scrivere

⁹ Auguste Arthur De La Rive (1801-1873)^[11] compì nel 1836 esperimenti sulla cella voltaica, un primo tipo di batteria, contribuendo allo sviluppo delle conoscenze in campo elettrico. Egli condivise il punto di vista del fisico inglese Michael Faraday che l'elettricità voltaica era causata da una azione chimica. Nel 1836 pubblicò la *Théorie de la pile voltaïque* e tra il 1854 e il 1858 scrisse *Traité d'électricité théorique appliquée*.

questa memoria per poter rivendicare la priorità del sistema da loro inventato qualora fossero state presentate da altri macchine simili alla loro. Sarà proprio la comparsa del motore Lenoir e soprattutto l'enorme clamore ed interesse che esso suscitò a convincere P. Barsanti e Matteucci a far dissuggellare il plico, nonostante fossero protetti da molti brevetti conseguiti in Inghilterra, Francia ed altri paesi europei, per poter maggiormente sostenere la priorità della loro invenzione nei confronti di quella di Lenoir.

La memoria ci fornisce informazioni sugli esperimenti intrapresi fino a quel momento; in essa vi si trova già tutta la concezione del motore a combustione interna se si eccettua la fase della compressione dei gas prima dell'accensione: quest'ultima troverà precisata la sua funzione termodinamica soltanto con Beau de Rochas nel 1861, anche se avrà applicazione pratica molti anni più tardi.

Riportiamo integralmente quanto scritto nella Memoria per capire meglio il pensiero dei due inventori^[10, 12]:

"Rapporto riguardante alcuni nuovi esperimenti dei Signori Eugenio Barsanti e Felice Matteucci, da loro depositato sigillato presso l'Accademia dei Georgofili nell'Adunanza del 5 giugno 1853, come rilevasi dal Processo Verbale di detta Adunanza:

I sottoscritti che hanno da non breve tempo formato il concetto di impiegare come forza motrice la combinazione detonante del gas ossigeno col gas idrogene, da incendiarsi per mezzo di scintilla elettrica, e che fino dai primi del gennaio dell'anno corrente hanno intrapreso e continuato adatti esperimenti, avendo recentemente inteso che altri, sebbene in modo notabilmente diverso¹⁰, ha ideato di valersi dello stesso principio motore non vogliono indugiare a depositare presso codesta Accademia dei Georgofili un Rapporto che faccia fede del loro asserto mediante l'attestato di persone distinte nella scienza e meritevoli di ogni fiducia le quali sono informate e in parte testimoni di siffatti esperimenti.

Con questo Rapporto faranno conoscere il procedimento dei concetti da loro formati, il modo tenuto ed il resultamento riscontrato negli esperimenti, e ciò per l'oggetto che allorquando si troveranno in grado di rendere di pubblica ragione il

¹⁰ Non sappiamo a quali invenzioni si riferiscano: probabilmente si allude al motore di C. Reithmann del 1852, di cui parleremo nel nono capitolo al paragrafo riguardante i predecessori.

loro ritrovato, non abbiano ad incorrere nella taccia di aver tratto partito da pensieri altrui.

Fino dal momento che gli esponenti tennero fra loro proposito di tentare l'applicazione di questa nuova forza, conobbero che due ricerche fondamentali conveniva fare.

I.° Trovare il mezzo di ottenere il miscuglio detonante al miglior prezzo possibile.¹¹

II.° Trasformare il moto istantaneo prodotto dalla detonazione in moto regolare, successivo, uniforme.

Per il primo oggetto si vede subito che la spesa necessaria per ottenere l'ossigeno dalla decomposizione dell'aria, sia per mezzo di acidi, sia per via Pila voltaica, non permetterebbe di sostenere la concorrenza con le macchine mosse dal vapore o dall'aria riscaldata nel sistema di Ericson¹².

Quindi fino a tanto che non si trovi un mezzo di ottenere l'ossigeno a migliore mercato, su di che i sottoscritti hanno formato qualche concepimento, che si riserbano di sperimentare, conveniva rinunciare ai vantaggi che presenterebbe l'ossigeno puro, e contentarsi di unire all'idrogeno aria atmosferica.

¹¹ Pur riservandoci di parlare in un altro capitolo degli studi sulla migliore miscela detonante, vogliamo far notare come i due inventori stessero attenti nella loro ricerca anche ai costi: essi erano consapevoli che un motore le cui spese di esercizio fossero state maggiori di quelle di una macchina a vapore non avrebbe sortito alcun interesse pratico, ma sarebbe stato uno studio probabilmente fine solo a se stesso. Ecco quindi che la miscela di idrogeno ed ossigeno fu scartata per l'alto costo di produzione dell'ossigeno, il quale venne sostituito con l'aria; quest'ultima presentava, però, degli inconvenienti come la presenza dell'azoto che restava dopo l'esplosione e non permetteva di raggiungere un alto grado di rarefazione: questa difficoltà fu, comunque, superata dai due inventori.

¹² Nel 1852 lo svedese Ericson modificò il ciclo della macchina ad aria calda di Stirling, che si compone di un primo periodo di somministrazione del calore a temperatura costante accompagnato quindi da una espansione isoterma, di un secondo periodo di sottrazione di calore a volume costante attraverso un rigeneratore, di un terzo periodo di sottrazione di calore a temperatura costante accompagnato quindi da una compressione isoterma, ed infine dal quarto ed ultimo periodo di somministrazione di calore a volume costante attraverso un rigeneratore. Ericson, riprendendo l'idea di Stirling, sostituì ai due periodi di sottrazione e somministrazione di calore a volume costante altri due a pressione costante; usando l'atmosfera quale refrigerante, egli ideò una macchina ad aria calda aperta o con rinnovazione di fluido ad ogni evoluzione completa.

L'applicazione peraltro di questo concetto presentava gravi difficoltà, sia per introdurre nell'apparecchio aria ed idrogene nelle debite proporzioni, sia perché entrando l'azoto nella composizione dell'aria atmosferica per 80 parti su 100¹³, sarebbero rimasti nel recipiente, ove deve aver luogo l'accensione del miscuglio, 5 parti di azoto sopra 7 del miscuglio medesimo, oltre la poca acqua che risulta dalla combinazione degli altri due gas: ma questa difficoltà è stata vinta come vedremo fra poco."

Viene adesso descritto l'apparecchio sperimentale, rappresentato in Fig. 5.

"Prima di tutto occorre dire che l'apparecchio che ha servito agli esperimenti in discorso consiste sostanzialmente in un cilindro vuoto di ferro fuso a forti pareti nel quale è situato uno stantuffo avente un'asta che passa per il centro di un coperchio fermato per mezzo di viti all'estremità superiore; questa asta è di tale lunghezza e di tal forma da non permettere allo stantuffo stesso di discendere fino all'estremità del cilindro; talché il cilindro viene diviso dallo stantuffo in due capacità; una superiore, lunga centimetri 60 ed avente centimetri 9 di diametro, ed una inferiore assai più corta, ma più larga, avente centimetri 12 in lunghezza, centimetri 10 in diametro, la quale può chiudersi ermeticamente con un fondo. E' in questa inferiore capacità, cui daremo il nome di camera, che deve aver luogo l'accensione del miscuglio gassoso la di cui forza espansiva caccia ad ogni colpo lo stantuffo che le serve di fondo superiore. Un disco che scorre a fregamento in questa capacità, munito di valvola, serve a estrarre i prodotti della combustione da un foro praticato nel fondo inferiore della camera, mentre fa entrare dalla parte di sopra il miscuglio gassoso, e quindi giunto al termine della corsa produce la scarica."

Poiché lo stantuffo all'atto dell'esplosione riceveva una spinta rapida e violenta, i due inventori proposero quattro sistemi per trasformare quel movimento così brusco in uno successivo e regolare.

"Ciò posto, non potendosi, come si diceva, pensare a fare imprimere il movimento alla macchina cui volesse applicarsi questo nuovo sistema dall'asta dello stantuffo che corre rapido come avesse ricevuto una forte martellata, conveniva ideare il

¹³ Si tenga presente che nella composizione volumetrica dell'aria secca a livello del mare è presente il 78,09% di azoto ed il 20,95% di ossigeno; al tempo delle ricerche i due inventori ritenevano che l'aria fosse composta da ossigeno per il 20,8%, da azoto per il 79,2% e da altri elementi presenti in quantità trascurabile
[13]

modo di trasformare quel movimento istantaneo in un movimento successivo e regolare.

Quattro sistemi sono stati immaginati per raggiungere questo intento:

1.° Munire il coperchio o il fondo superiore del cilindro, per il quale passa l'asta dello stantuffo, di scatola stoppata, acciò non sfugga l'aria che tra la base superiore dello stantuffo e detto fondo rimane, la quale, venendo compressa dall'urto e ridotta alla tensione di più atmosfere, reagisca nella distesa, sopra la base dello stantuffo e l'obblighi a retrocedere, per servirsi di questo ritorno, e non dell'andata, per produrre l'effetto utile desiderato mediante ingranaggi e meccanismi di speciale costruzione.

2.° Ottenere nel modo stesso la compressione dell'aria, ma per l'oggetto di cacciarla per mezzo di un tubo addizionale munito di valvola che si apra dal di dentro al di fuori in una così detta cassa d'aria, dalla quale, come si fa del vapore, si potrebbe far passare in uno o due cilindri a doppio effetto, che non differirebbero da quelli delle macchine attualmente in uso, e qui non occorre dire che il coperchio che contiene la scatola stoppata dovrebbe essere munito di valvola, che si schiuda dal di fuori al di dentro, per dare passaggio a nuova aria, la quale, dopo aver premuto lo stantuffo fino alla sua completa discesa, debba essere nuovamente compressa e cacciata dal ritorno dello stantuffo.

3.° Fare agire lo stantuffo non più in un cilindro ermeticamente chiuso, ma anzi aperto nella parte superiore ove basterebbe che l'asta del medesimo trovasse una guida; e fare allungare allo stantuffo nella sua ascensione un sistema di molle, o altri corpi elastici che, cessata la impulsione, reagendo colla forza ricevuta sullo stantuffo stesso, lo rendesse capace di produrre l'effetto utile nel suo ritorno

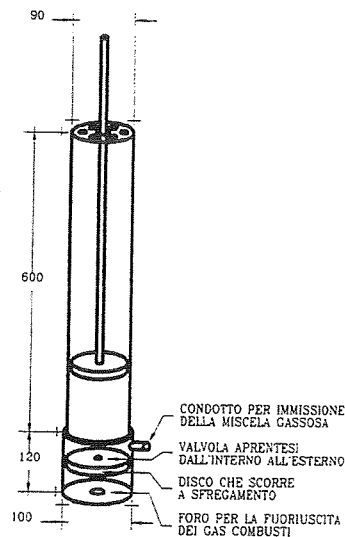


Fig. 5 - Schema dell'apparecchio sperimentale (Memoria depositata all'accademia dei Georgofili)

4.° Fare agire lo stantuffo in un cilindro superiormente aperto come nel caso precedente, ed assegnare al cilindro tale lunghezza e capacità, che la forza espansiva non giunga a cacciare fuori di esso lo stantuffo. In questo caso nell'andata si formerebbe un vuoto sotto lo stantuffo, e la forza utile di cui ci varremmo sarebbe la pressione atmosferica sulla di lui base.

Gli esperimenti finora intrapresi lo sono stati nel primo sistema, e mentre hanno dato soddisfacenti risultamenti quanto all'intensità della forza prodotta avendo condensato l'aria a quattro atmosfere, hanno lasciato qualche cosa a desiderare circa allo sperato ritorno dello stantuffo per effetto della discesa dell'aria compressa.

Questo risultamento può attribuirsi e a poca esattezza di costruzione dell'apparecchio, e alla perdita di calorico, che fa, con scapito dell'elasticità, l'aria cedendolo alle pareti del cilindro, nello sviluppo che deve farsene nell'atto della violenta compressione. La prima causa potrebbe essere rimossa da una più perfetta costruzione; la seconda dovrebbe venire, se non altro, molto diminuita, quando nella macchina completamente costruita sui principii già ideati, in modo da agire totalmente da se stessa, si verificasse quella totalità di movimenti che si vuole e si può ottenere, e che sarebbe capace di riscaldare le pareti del recipiente. Oltre di che è da ritenersi che se questo recipiente riceverà dall'aria ad ogni colpo nuove quantità di calorico, perverrà dopo un lungo tempo ad essere saturo, specialmente se fosse formato da materia poco conduttrice, o almeno circondato da materia coibente il calorico.

Non è stato esperimentato il secondo sistema in mancanza dei mezzi necessari per procurarsi una macchina che dovrebbe essere perfetta, e che non differirebbe dalle comuni macchine a vapore, sennonché nella sostituzione di una cassa di aria alla

caldaia ed a tutti quegli accessori che si richiedono per la formazione ed il regolamento del vapore.

Ma qui ci permetteremmo di osservare che una volta che colle prime esperienze ci siamo convinti della possibilità di condensar l'aria ad un notevole numero di atmosfere, e così a quella stessa tensione che ha il vapore nelle caldaie, ed una volta che fosse determinato bene il rapporto dei cilindri condensatori colla cassa d'aria ed i cilindri motori, non può punto dubitarsi dell'effetto di questa forza espansiva. Se offrirebbe questo sistema un vantaggio, sarebbe quello di applicarlo alle macchine già destinate a funzionare per mezzo del vapore.

Il terzo sistema che richiede minor perfezione d'istrumenti e meccanismo molto semplice, verrà quanto prima tentato, appena cioè abbiamo potuto ottenere i corpi elastici già da noi commessi.

Non verrà sperimentato il quarto sistema se non quando trovassimo impreviste difficoltà nel terzo.

Non occorre dire che, trattandosi di sistemi a semplice effetto, bisognerebbe in atto pratico impiegare cilindri gemelli con moto alternativo."

I due inventori avevano quindi sperimentato il primo sistema ma lo avevano trovato scarsamente efficiente per fenomeni fisici dei quali erano consapevoli ed ai quali potevano ovviare: erano riusciti a comprimere l'aria fin verso le quattro atmosfere realizzando, però, un imperfetto ritorno dello stantuffo a causa dell'incompiuta espansione dell'aria stessa. Il secondo sistema, che avrebbe dovuto funzionare come una macchina a vapore, non fu sperimentato per la mancanza di un meccanismo adatto: è da rilevare che questo caso è il solo che non imponesse la necessità dello studio dello speciale dispositivo atto a consentire la trasmissione del moto solo nel ritorno, dato che lo stantuffo rimaneva in questo caso costantemente libero. Sul terzo sistema stavano lavorando ed avevano ordinato il sistema di molle che doveva produrre l'effetto utile nella corsa di ritorno. Sul quarto sistema, che sarà quello portato poi alla fase di realizzazione, non avevano ancora effettuato prove ma su di esso si ripromettevano di indirizzare i loro studi se il terzo, come avvenne, non li avesse soddisfatti, dato che il primo era escluso e per il secondo sembra che si disperasse di avere a disposizione i mezzi d'opera necessari.

Quindi nella primavera del 1853, all'atto del deposito del plico, la quarta soluzione non aveva forse ancora guadagnato la piena convinzione degli inventori nei riguardi della propria superiorità; tuttavia il dubbio fu breve in quanto nella

primavera del successivo anno troviamo tale soluzione citata per prima nel brevetto presentato in Inghilterra.

La seconda soluzione, citata nella Memoria ed apparsa di difficile sperimentazione, fu attuata intorno al 1865 da Bargagli¹⁴: il motore, del quale il Prof. Ing. A. Picchi curò anche la rappresentazione grafica (che, purtroppo, non possediamo), sappiamo che risultò di elegante disegno.

Riguardo la seconda soluzione proposta nella Memoria si deve aggiungere che la troviamo citata anche nel primo brevetto inglese, nel quale, invece, non c'è più cenno della prima e della terza; quest'ultima, se era stata sperimentata, non doveva, probabilmente, aver dato risultati soddisfacenti.

La diversità fra la successione delle soluzioni nominate nella Memoria e nel brevetto inglese rafforzano la convinzione che gli studi di P. Barsanti e Matteucci dovevano, all'inizio del 1854, aver già dato i loro frutti decisivi riguardo la questione di base del tipo di motore più conveniente.

Un altro aspetto importante da mettere in evidenza è il fatto che le prime tre soluzioni comportavano una riduzione del rapporto di espansione: questo può aver indotto ad avere una maggiore fiducia nel quarto sistema in quanto, come vedremo in seguito, gli studi dei due inventori si indirizzarono verso la ricerca di più ampie e prolungate espansioni.

"Non paghi poi di dedurre dalla sola esperienza la dimostrazione degli effetti di questa nuova forza, volemmo ancora valutarla colla teoria e col calcolo: ma senza più oltre diffonderci basterà accennare che ottenemmo risultamenti bastamente concordi con quelli dedotti dalle esperienze.

Firenze, 1 Giugno 1853

Eugenio Barsanti delle S. P.

Felice Matteucci

Noi sottoscritti abbiamo preso cognizione delle sopra indicate esperienze:

Giovanni Antonelli delle S. P.

Tito Gonnella

Pasquale Poccianti

¹⁴ Di Bargagli e del suo motore si parla nel nono capitolo.

Emilio Bechi

Filippo Cecchi delle S. P. "

Questi erano dunque i concetti che condussero i due inventori a progettare e costruire il loro motore.

Capitolo 4

Caratteristiche tecnico funzionali dei motori Barsanti e Matteucci

Sebbene il principio su cui si fondano i motori di P. Barsanti e Matteucci sia sempre lo stesso, le soluzioni ideate sono state diverse e, da un punto di vista funzionale, tutte valide: questo rende difficile, se non impossibile, identificare in una sola macchina l'invenzione. Inizieremo con il descrivere il principio di funzionamento per passare poi ad analizzare la struttura dei motori che più degli altri dettero risultati soddisfacenti; infine vedremo quali furono le macchine effettivamente costruite.

4.1 Il principio di funzionamento

I motori Barsanti e Matteucci furono principalmente gravioatmosferici od atmosferici ad azione differita alla corsa di ritorno ^[14]; motori ad azione diretta furono studiati dai due inventori ma, nonostante avessero una meccanica più semplice, vennero scartati perché presentavano un rendimento più basso rispetto agli altri. Con "azione differita alla corsa di ritorno" si intende dire che il lavoro utile era trasmesso dallo stantuffo solo nella corsa di ritorno: il motivo di questa soluzione verrà visto in dettaglio successivamente. In questi motori veniva sfruttata l'azione costante e continua della pressione atmosferica, alla quale si aggiungeva, nelle macchine ad asse verticale, il peso dello stantuffo e dell'asta del medesimo, e non l'azione violenta ed istantanea dell'esplosione.

Nei motori Barsanti e Matteucci l'esplosione della miscela spostava violentemente in avanti lo stantuffo il quale non incontrava alcuna resistenza se non quella dell'attrito lungo le pareti del cilindro. A causa dell'impulso ricevuto la corsa dello stantuffo proseguiva oltre il punto in cui la pressione interna del cilindro era uguale a

quella esterna ¹⁵: si veniva quindi a creare all'interno del cilindro una situazione di rarefazione. Tale rarefazione causava in un primo momento il fermarsi dello stantuffo e, successivamente, il retrocedere dello stesso, essendo la pressione atmosferica esterna maggiore di quella interna; inoltre il raffreddamento delle pareti del cilindro, ottenuto tramite circolazione d'acqua, e la minor velocità della corsa di ritorno, dovuta alla resistenza prodotta dal collegamento con altri organi, facilitavano la condensazione dei prodotti della combustione concorrendo, così, a favorire la situazione di rarefazione che si veniva a creare all'interno.

Lo stantuffo trasmetteva il suo moto all'albero motore nella corsa di ritorno, detta per questo corsa attiva, tramite un dispositivo con la struttura di seguito descritta: all'asta dello stantuffo era fissata una cremagliera sulla quale si innestava un rocchetto dentato applicato all'albero motore; tale rocchetto era munito di cric che permetteva la trasmissione del moto solo nella corsa di ritorno, mentre in quella di andata rimaneva in folle; il moto rettilineo dello stantuffo era così trasformato in moto rotatorio.

Il fatto che lo stantuffo fosse scollegato dagli altri organi al momento dell'esplosione e per tutta la durata della corsa di andata permetteva a questo di funzionare come valvola di sicurezza e non faceva mai risentire alle pareti del cilindro uno sforzo superiore a quello delle macchine a vapore a bassissima pressione. Quindi il motore di P. Barsanti e Matteucci era più sicuro delle macchine a vapore, nelle quali non si era in grado di eliminare il pericolo delle terribili esplosioni delle caldaie.

Inoltre il fatto che la resistenza fosse minima nella corsa di andata permetteva di avere un alto valore del rapporto volumetrico di espansione: questo era, come si è già detto in precedenza, uno degli obiettivi più importanti su cui i due inventori avevano posto la loro attenzione.

P. Barsanti e Matteucci durante i loro studi notarono che per avere un movimento dell'albero motore più uniforme e continuativo era conveniente usare due cilindri, i cui stantuffi si muovessero in opposizione, agendo alternativamente sull'albero motore: su questo principio fu costruito il primo motore che ebbe un effettivo utilizzo pratico. Comunque essi ritennero che, in alternativa, si poteva usare anche un solo

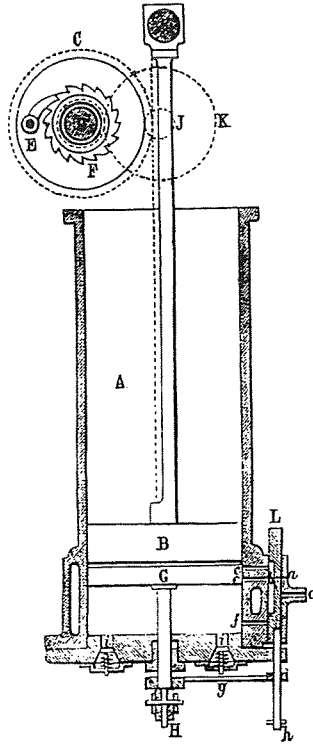
¹⁵ Nella Fig. 2, terzo capitolo, questo punto è indicato con la lettera *d*.

cilindro purché si avesse l'accortezza di montare un volano, di dimensioni e di peso opportuni, che con la sua inerzia riuscisse a vincere i punti morti.

4.2 Lo schema tecnico

Cerchiamo adesso di dare una descrizione più dettagliata del motore; a tale scopo verranno utilizzati alcuni disegni tratti dal brevetto conseguito in Francia nel 1858 dai due inventori. Descriveremo infine il motore a stantuffi concorrenti.

Fig. 6 - Schema del motore a stantuffo ausiliario.



Nelle Fig. 6 e 7 ^[15] sono riportate le sezioni di due motori con differenti soluzioni costruttive: la Fig. 6 mostra la soluzione a stantuffo ausiliario mentre la Fig. 7 quella ad un solo stantuffo, che fu la prima pensata dai due inventori.

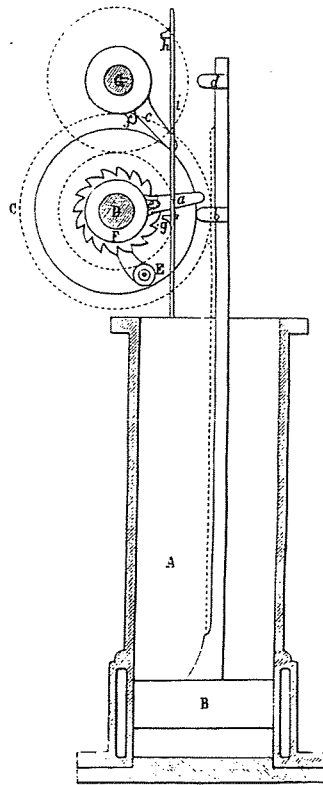


Fig. 7 - Schema del motore senza stantuffo ausiliario.

Iniziamo con l'analizzare la Fig. 6: abbiamo un cilindro *A* aperto superiormente e chiuso inferiormente da un coperchio munito di due valvole *i*, aprentesi dall'interno verso l'esterno per permettere la fuoriuscita dei gas combusti dalla camera di scoppio. Lo stantuffo principale *B* è provvisto di un'asta a cremagliera che ingrana sulla ruota *C* che gira folle sull'albero principale, o albero motore, *D*, portando il nottolino *E*, il quale è premuto da una molla sul rocchetto a denti a sega *F* calettato sull'albero *D*: durante la corsa di andata, dopo l'esplosione della miscela, il nottolino *E*, girando con la ruota *C* scorre sui denti del rocchetto *F* senza farlo ruotare, mentre nella

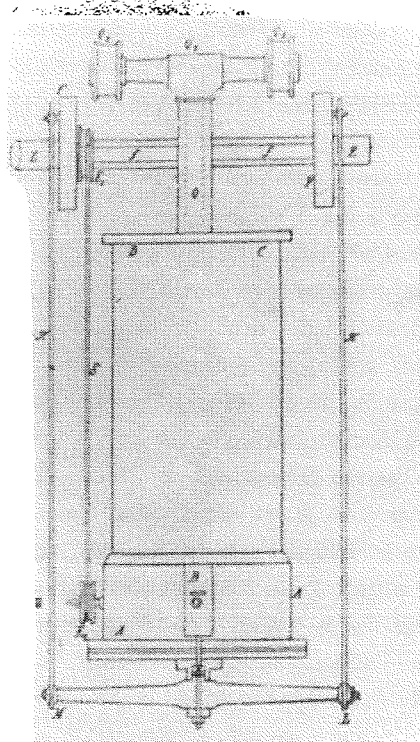
corsa di ritorno, poiché si inverte il senso rotatorio della ruota *C*, il nottolino *E* si incastra con i denti del rocchetto *F* trasmettendo, quindi, il movimento anche all'albero *D*. Disposte parallelamente su ciascun fianco del motore, troviamo due ruote *K* che sono fatte ruotare per mezzo di un rocchetto dentato calettato sull'albero *D*: queste, attraverso due tiranti che si articolano eccentricamente ad esse, trasmettono un movimento oscillatorio continuo ad una traversa *H* posta sotto la macchina e collegata all'asta dello stantuffo secondario, o ausiliario, *G* che è posto

sotto lo stantuffo principale *B* e che si muove insieme alla traversa *H*. La traversa *H*, inoltre, tramite l'asta trasversale *g* trasmette il movimento oscillatorio al cassetto di distribuzione *L*. Sui due piani di scorrimento del cassetto di distribuzione *L* si trovano tre luci *c*, *e* e *f* comunicanti con l'interno del cilindro (più precisamente con lo spazio riservato al movimento dello stantuffo ausiliario, detto anche stantuffo distributore) e due luci *a* e *d* comunicanti rispettivamente con l'atmosfera e con un condotto di gas; il cassetto di distribuzione *L* ha anche una cavità rivolta verso il cilindro ed è provvisto di una luce *b*. Analizziamo il movimento del cassetto di distribuzione *L* partendo dalla posizione iniziale in cui i due stantuffi sono quasi a contatto fra di loro. La prima fase è quella di aspirazione della miscela detonante durante la quale lo stantuffo principale è fermo mentre quello ausiliario, al principio quasi a contatto del primo, sta discendendo; la posizione iniziale del cassetto di distribuzione *L* è quella mostrata in Fig. 6 in cui la luce *b* è allineata con la luce *a*, le luci *c* ed *e* sono coperte dallo stantuffo ausiliario e le luci *f* e *d* sono coperte dalle pareti del cassetto di distribuzione *L*. Nella fase di discesa dello stantuffo ausiliario vengono scoperte prima le luci *c* ed *e* ed attraverso la luce *b*, combaciante con la luce *a* comunicante con l'atmosfera, viene aspirata aria all'interno del cilindro nello spazio generato dallo stantuffo ausiliario stesso; successivamente l'asta *g*, anch'essa discendente, tira giù il cassetto di distribuzione *L*, mettendo la luce *b* in comunicazione con la luce *d* così da permettere l'aspirazione del gas combustibile. Quando lo stantuffo ausiliario è arrivato al termine della sua corsa discendente, la luce *f* è messa in collegamento con la cavità presente nel cassetto di distribuzione *L* e la luce *b* non combacia più con la luce *d*: in questa posizione il cassetto di distribuzione è fermo. Segue la fase di accensione della miscela detonante mediante una scintilla elettrica, dovuta alla chiusura di un circuito elettrico prodotta dall'apposito comando; questo provoca la rapida ascesa dello stantuffo principale. Dopo aver terminato la corsa di espansione, lo stantuffo principale discende fino a quando i gas combusti raggiungono una pressione circa uguale a quella atmosferica (per un calcolo esatto dovremmo considerare anche il peso dello stantuffo). Nel tempo che lo stantuffo principale discende quello ausiliario ascende, scoprendo la luce *f* e mettendo in comunicazione lo spazio che gli sta sopra con quello che gli sta sotto per mezzo delle luci *c*, *e* e *f* collegate fra loro dalla cavità del cassetto di distribuzione; quindi, quando i gas combusti raggiungono e superano la pressione atmosferica, si aprono le valvole *i* attraverso le quali fuoriescono all'esterno. Prima che termini la corsa ascendente

dello stantuffo ausiliario, l'asta *g* riporta il cassetto di distribuzione alla posizione iniziale in modo da poter cominciare nuovamente il ciclo ora descritto.

Nelle Figg. 8, 9, 10 e 11 sono riportati altri disegni relativi al motore ora descritto; tali disegni ^[10] furono derivati dal Prof. Kühlmann ¹⁶ nel 1867 da quelli allegati al brevetto francese del 1858 (Fig. 12).

Fig. 8 - Elevazione e vista dei dispositivi di comando del cassetto, dell'accensione e della distribuzione.



¹⁶ Il Prof. Kühlmann riportò questi disegni nella suo trattato *Ueber Gaskraft-Maschinen*.

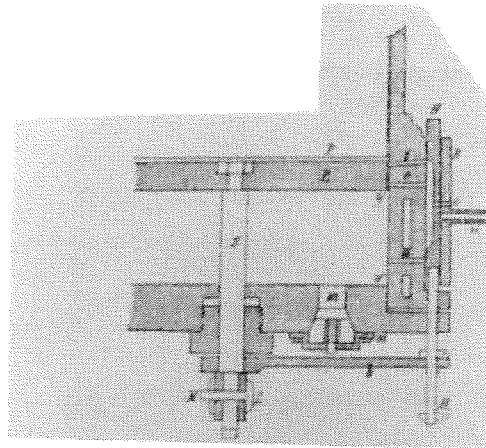


Fig. 9 - Particolare della distribuzione dovuta al movimento del cassetto e dello stantuffo ausiliario.

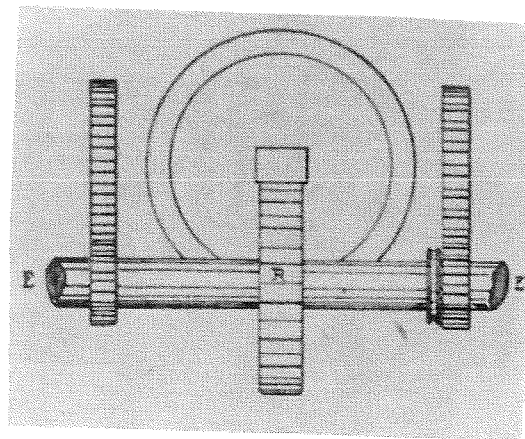


Fig. 10 - Vista in pianta del meccanismo di trasmissione del movimento.

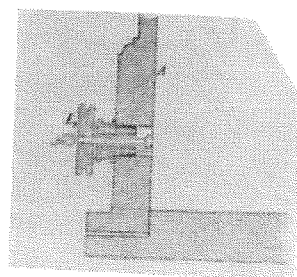
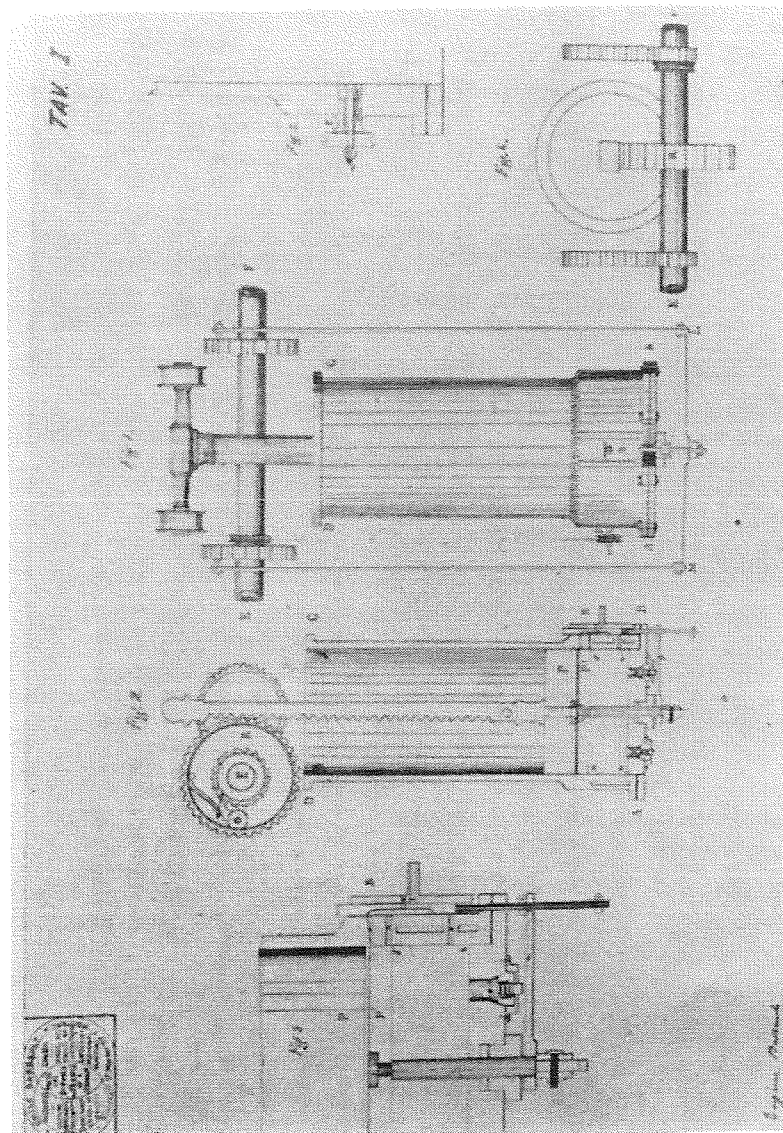


Fig. 11 - Dispositivo che produce la scintilla elettrica per l'esplosione della miscela.

Fig. 12 ^[10] - Disegni originali riportati nel brevetto francese (1858) del motore con stantuffo ausiliario



Sul disegno del motore oggetto del brevetto francese sono stati fatti vari studi da molti autori; infatti in esso vi si trova l'indicazione di una scala di riduzione: questo ha portato a pensare che tale disegno corrispondesse, se non al piano di un motore effettivamente costruito, ad un progetto in proporzioni costruttive. Dal disegno e dalle misure in scala è stato dedotto che il motore doveva avere un diametro di 240 mm. ed un'altezza del cilindro (dalla faccia superiore dello stantuffo) di 480 mm. circa.

Inoltre dai disegni è stato rilevato che il rapporto fra la massima corsa possibile per lo stantuffo principale e la corsa obbligata per lo stantuffo secondario è circa 7 a 1. Questo rapporto, nell'ipotesi che la fase di aspirazione durasse esattamente per tutta la corsa discendente dello stantuffo ausiliario, porterebbe a stimare in 8 a 1 il massimo rapporto di espansione possibile; considerando, comunque, che non tutta la corsa dello stantuffo inferiore è dedicata all'aspirazione, tale rapporto di espansione doveva essere ancora maggiore. Dobbiamo aggiungere che una variazione di volumi superiore a quella identificabile col rapporto di 1 a 8 concorda col massimo dei rapporti che sono stati ottenuti nelle esperienze di cui si parla nel Manoscritto Ximeniano.

Il Prof. Ing. Levi-Cases ha rilevato che lo stantuffo principale doveva avere uno spessore di 55 mm. circa e, quindi, un peso dell'ordine dei 0,045 Kg. per cm^2 : a questo peso deve aggiungersi, per una corretta valutazione della resistenza opposta dallo stantuffo al sollevamento, quello delle parti residue dell'equipaggio mobile (come stima orientativa possiamo ricordare che quello del motore Otto e Langen, usato da Meidinger¹⁷ in alcune sue esperienze, era di circa 0,1 Kg per cm^2).

Passiamo adesso ad analizzare il motore rappresentato in Fig. 7. In questo disegno è schematizzato il motore senza stantuffo ausiliario, le cui funzioni sono adesso eseguite direttamente da quello che prima era stato chiamato principale ed ora sarà semplicemente detto stantuffo. Con l'albero motore *D* troviamo adesso collegato, tramite una coppia di ruote dentate, un controalbero *G*. Mediante le sporgenze *a* e *c*, ruotanti rispettivamente intorno agli alberi *D* e *G*, viene impresso all'asta dello stantuffo un movimento alternato: la sporgenza *a* urtando contro il dente *b* spinge verso il basso mentre la sporgenza *c* urtando il dente *d* spinge verso l'alto. Come avveniva nell'altro sistema, anche in questo lo scoppio della miscela causa la veloce

¹⁷ Le esperienze compiute nella seconda metà del secolo scorso da Meidinger sui motori gravioatmosferici sono fra le più complete.

ascesa dello stantuffo. Il movimento alternato e discontinuo del cassetto di distribuzione è prodotto dall'urto, ad istanti opportuni, dei denti *e* e *f*, posti sull'albero *D* e sul controalbero *G*, contro le sporgenze *g* e *h* dell'asta verticale *i* collegata direttamente con il cassetto di distribuzione.

Particolari di questo motore li possiamo vedere raffigurati in Fig. 13 ^[10], in essa vediamo:

- fig. 1: sezione laterale del motore; corrisponde a quella in Fig. 7;
- fig. 2: complessivo del motore visto di fronte;
- fig. 3: il motore visto dall'alto;
- fig. 4: il cassetto di distribuzione sezionato; questo appare come un semplice parallelepipedo che possiede, a differenza del sistema adottato nel motore a stantuffo ausiliario, due canali, a cui corrispondono altrettante aperture nel coperchio e nella parete del cilindro.

Comune alle due soluzioni era il sistema di raffreddamento: nella parte inferiore e per una certa altezza del cilindro vi è un vano anulare in cui circola acqua fredda che mantiene le pareti ad una temperatura conveniente.

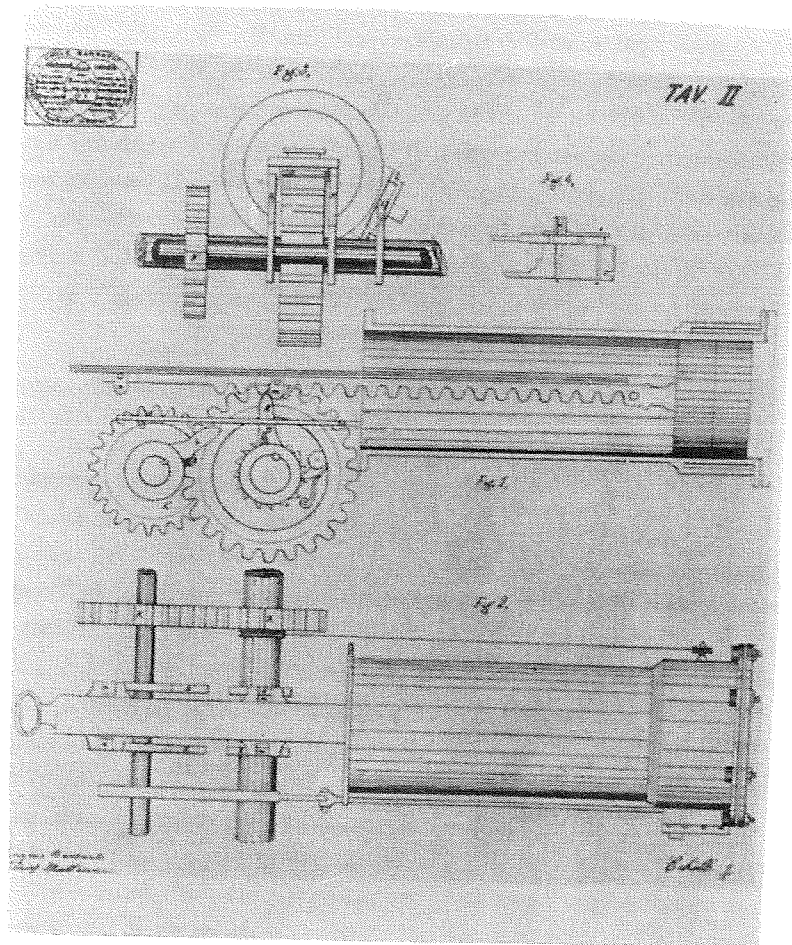
Il motore ad un solo stantuffo aveva una costruzione più semplice e permetteva di procedere con maggiore frequenza all'introduzione della miscela detonante ed allo scarico dei prodotti della combustione.

Come si è visto le due macchine differiscono nel meccanismo ma non nel principio: quindi è più corretto parlare di un solo sistema attuato in due diversi modi piuttosto che di due sistemi distinti.

Altra soluzione che non differisce nel principio da quelle precedenti è quella adottata nel motore a stantuffi concorrenti.

Poiché ad ogni esplosione nel motore ad un solo stantuffo si aveva un contraccolpo sul fondo del cilindro più o meno forte a seconda della potenza del motore, i due inventori pensarono di costruire macchine a due cilindri in opposizione, cioè fondo contro fondo; fatti funzionare in sincronismo, i due stantuffi davano luogo, spostandosi contemporaneamente in senso opposto, a due reazioni che si neutralizzavano a vicenda. Con questa soluzione si venivano ad eliminare i contraccolpi e si potevano ottenere macchine di grande potenza quali erano richieste per un loro impiego sui battelli.

Fig. 13 - Disegni originali riportati nel brevetto francese (1858) del motore senza stantuffo ausiliario



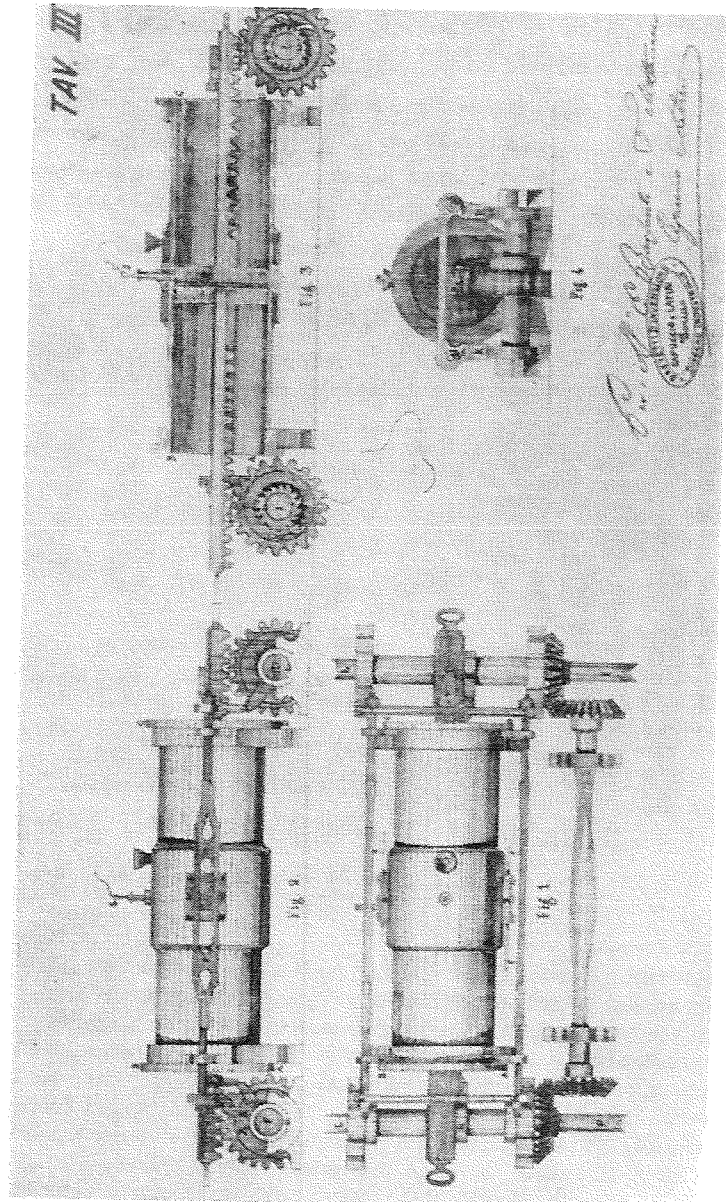
Contributi importanti alla realizzazione di questo tipo di motore furono apportati da Giovan Battista Babacci e P. Cecchi, collaboratori di P. Barsanti e Matteucci. Babacci propose, in più, di far comunicare le due camere di scoppio tramite un orifizio praticato sul fondo di esse e di far scoccare la scintilla in tale orifizio; del contributo di questo collaboratore ripareremo più avanti. Questa idea così semplice è molto importante poiché l'esplosione delle miscele detonanti avveniva così contemporaneamente e si evitavano gli inconvenienti dovuti alla mancanza di simultaneità di scoppio od alla mancata esplosione che si poteva verificare in una delle due camere. P. Cecchi propose di togliere addirittura la parete che separava le due camere; aveva infatti fatto delle esperienze che lo avevano portato a concludere che tale modifica avrebbe consentito un aumento della potenza.

Nella Fig. 14 ^[10], tratta da un brevetto conseguito in Italia nel 1858, è riportato un disegno del motore a stantuffi concorrenti e camera di scoppio unica:

- fig. 1: vista dall'alto del motore;
- fig. 2: vista di lato del motore;
- fig. 3: sezione longitudinale lungo l'asse del cilindro;
- fig. 4: vista di una delle due estremità.

Come si è detto in precedenza anche il funzionamento di questo motore si basa sullo stesso principio di quelli precedenti: infatti abbiamo l'esplosione di una miscela di gas e aria tramite una scintilla elettrica e l'utilizzazione della pressione atmosferica per produrre la corsa attiva. Il cilindro possiede due stantuffi, pressoché a contatto fra di loro, che si spostano in direzioni opposte ed hanno corse leggermente diverse. Sull'asta di ogni stantuffo vi è una cremagliera che ingrana su una ruota a sua volta collegata con l'albero motore comune ai due stantuffi. Come nei precedenti motori vi è un dispositivo che permette la trasmissione del movimento all'albero motore solo nella corsa di ritorno. Il gas combustibile e l'aria vengono introdotti tramite due cassette situati ai lati del cilindro ed opportunamente comandati; l'accensione avviene per mezzo di scintille elettriche. Uno dei due stantuffi ha una corsa leggermente più lunga in quanto deve creare lo spazio per permettere l'introduzione della miscela detonante; all'atto dell'esplosione i due stantuffi ricevono spinte uguali ed opposte percorrendo spazi identici; la pressione atmosferica esterna determina poi la corsa retrograda. I residui della combustione sono espulsi attraverso il canale di un cassetto che si apre al momento opportuno e che è in comunicazione con l'esterno.

Fig. 14 - Motore Barsanti e Matteucci a stantuffi contrapposti e camera di scoppio unica (brevetto italiano del 1858).



Nei motori descritti il sistema di accensione è elettrico. Furono peraltro provati da P. Barsanti e Matteucci vari dispositivi di accensione, ma quello scelto fu il sistema a rocchetto di Ruhmkorff ¹⁸. Il dispositivo che faceva avvenire la scintilla era comandato dall'albero motore, collegato ad esso tramite una cinghia: questo è quanto si può rilevare osservando la parte destra della Fig. 8.

Altri dispositivi di accensione provati furono quello della pistola di Volta, l'apparecchio di De La Rive e la fiammella a gas. Quest'ultimo sistema, preferito dai tedeschi Otto e Langen, consiste nell'aspirare una fiamma all'interno della camera di combustione: la Fig. 15 ^[15] illustra schematicamente questo sistema.

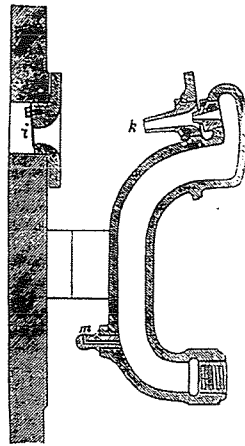


Fig. 15 - Sistema di accensione a fiammella a gas.

¹⁸ Schematicamente esso è costituito da un nucleo di ferro dolce su cui è avvolto a spirale un filo di sezione relativamente grande, chiamato circuito primario, immerso in un avvolgimento costituito da numerose spire di filo sottile, chiamato circuito secondario, i cui estremi terminano con dei morsetti: quando nel circuito primario circola una corrente pulsante, ai capi dei morsetti del secondario si manifesta una tensione proporzionale, in base alla legge fondamentale dell'induzione elettromagnetica, alla variazione istantanea di flusso magnetico che attraversa il secondario, la quale può essere sufficientemente elevata da far scoppiare una scintilla elettrica fra i morsetti stessi. Il dispositivo venne ideato nel 1851 da Ruhmkorff.

Dal becco k esce una fiamma a gas che, per come è disposto il becco stesso, si dirige verso l'apertura i , praticata nella parete del cilindro e coperta, dall'interno, da una lastrina metallica. Quando lo stantuffo nella sua ascesa supera l'apertura i , la lastrina si innalza per effetto della pressione atmosferica: la fiamma del becco k viene quindi aspirata all'interno del cilindro causando l'esplosione della miscela. Subito dopo l'esplosione la lastrina metallica richiude l'apertura i per effetto del notevole aumento di pressione interna. La fiamma del becco k può venire spenta dal soffio che esce dall'apertura i al momento dell'esplosione: in tal caso, per riaccendere la fiamma, sotto il becco k si trova un altro becco, designato con la m , che rimane sempre acceso (quando la fiamma del becco k si spegne il gas continua a fuoriuscire e la fiamma del becco m provvede subito ad infiammarlo).

4.3 I motori realizzati

Per la realizzazione dei loro motori i due inventori si trovarono di fronte a difficoltà di non poco peso: l'industria meccanica del tempo aveva una struttura assolutamente modesta in quanto si era sviluppata quasi sempre su un piano artigianale al seguito dell'apparizione della macchina a vapore; vi era una scarsa disponibilità di materiali adeguati ed anche una modesta conoscenza delle loro caratteristiche; le macchine ed i procedimenti per la lavorazione dei metalli erano alquanto primitivi; inoltre vi era in Toscana scarsità di officine meccaniche e di fonderie: queste infatti si trovavano per la maggior parte in Lombardia ed all'estero, in paesi quali l'Inghilterra, il Belgio e la Germania. I due inventori ebbero, comunque, la fortuna di incontrare nella ditta di Pietro Benini di Firenze persone intelligenti ed abili.

Passiamo ora a descrivere i motori costruiti; furono in totale sei.

4.3.1) *Il prototipo sperimentale*

Era trascorso poco più di un anno dall'inizio della collaborazione fra P. Barsanti e Matteucci quando nel 1853 il primo motore vide la luce. Esistono delle note a debito Matteucci negli archivi della Soc. An. del Pignone (succeduta alla Ditta Pietro Benini) che provano la costruzione di questa macchina ^[16]. Particolarmente

interessante è la nota datata 2 Novembre 1853 dalla quale si rileva che il motore aveva tutte le caratteristiche tecnico funzionali ideate dai due inventori: infatti era gravioatmosferico ad azione differita essendo in tale nota citati tutti gli organi principali di questo sistema (ruota dentata, cric, etc.). Inoltre si deduce da questa nota che devono essere state eseguite molte prove di funzionamento poiché vi si rammentano le numerose riparazioni fatte (soprattutto alla staffa della cremagliera, alla ruota dentata ed al cric) ed anche i molti montaggi e rimontaggi dei vari organi. In questa nota si parla anche di un recipiente per "l'emanazione" del gas idrogeno.

Nella lettera (let. n°6) inviata il 22 settembre 1853 dal Benini a Matteucci abbiamo un'ulteriore conferma dei lavori di costruzione della macchina: inoltre notiamo come anche P. Benini collaborasse alla realizzazione attraverso diversi consigli.

Il motore funzionò solo in via sperimentale: non risulta, infatti, alcun suo impiego pratico.

4.3.2) Il motore delle Officine della Ferrovia Maria Antonia di Firenze

Un secondo motore fu costruito nel 1856: esso era in funzione presso le officine della Ferrovia Maria Antonia di Firenze e trasmetteva un movimento sufficientemente regolare ad una forbice e ad un trapano: è il primo esempio di applicazione del motore a scoppio al comando di macchine utensili. Tale motore era a due cilindri interdipendenti; esso era stato costruito conformemente alla descrizione del primo brevetto inglese del 13 Maggio 1854.

In questo caso l'asta di ognuno dei due pistoni portava due cremagliere: una ingranava con una ruota dentata che, collegando gli stantuffi, imprimeva a questi un movimento alternativo in controfase, l'altra provvedeva a trasmettere il movimento nel modo già descritto.

4.3.3) Il motore a stantuffi concorrenti per la motonavigazione

Nel 1858 venne costruito dalla fonderia di Vincenzo Calegari di Livorno un motore della potenza di 20 cavalli.

Su questo motore abbiamo un interessante carteggio fra i due inventori e Calegari che ci rivela le caratteristiche del motore stesso; vale la pena citare due di queste lettere: quella datata 10 maggio 1858 (let. n°7) e quella datata 14 maggio 1858 (let. n°8), spedite entrambe dal Calegari al Matteucci.

Dalla prima si deduce la data di consegna del motore, 10 Maggio 1858, e dalla seconda il fatto che esso non doveva aver avuto un funzionamento soddisfacente per i due inventori poiché il Calegari scrisse cercando di difendersi dalle critiche mossegli.

In entrambe le lettere si parla sempre di un cilindro al singolare e di pistoni al plurale: quindi la macchina doveva essere monocilindrica a stantuffi concorrenti. Ad avvalorare questa tesi vi è la frase *"Ella potrà riscontrare i pistoni, eseguiscono un bellissimo effetto facendo l'uno l'attrazione dell'altro"*: essa ci fa capire anche quanto sia stata accurata la realizzazione del cilindro e dei pistoni. Altra frase importante è *"per un cilindro di tale lunghezza"*: infatti nei motori Barsanti Matteucci si ha una prolungata espansione e, se il cilindro era particolarmente lungo, i pistoni dovevano essere due.

Dalla lettera del 14 Maggio 1858 si deduce che il cilindro era posto orizzontalmente poiché si dice che i pistoni poggiavano sulle pareti facendo molta resistenza.

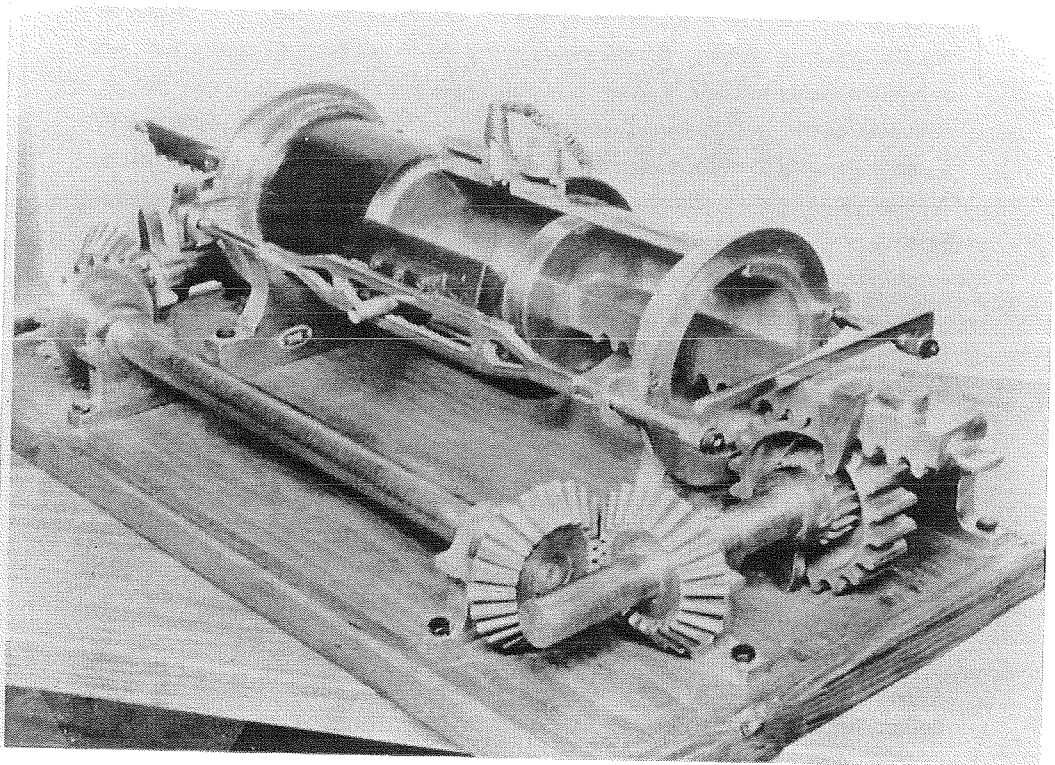
In una lettera del 24 Agosto 1858 si rivela che il cilindro era stato rimandato alla fonderia Calegari per essere aggiustato, se non modificato o rifatto di nuovo; la lettera si chiude con la firma del Calegari senza le forme ossequiose, generalmente usate, a conferma delle rimostranze del costruttore per le critiche fattegli.

Il motore fu costruito per essere impiegato per la motonavigazione: esso avrebbe dovuto essere utilizzato sul battello *Veloce* della Società Lariana di Como.

Abbiamo varie lettere intercorse fra i due inventori e la Società; è interessante un brano della lettera scritta a Matteucci dal marchese M. Calcagnini per conto della Società stessa (let. n°9): esso ci rivela che la macchina aveva la potenza di 20 cavalli.

Particolare importante è che, come si è detto nel paragrafo 4.2, disponendo due stantuffi in opposizione e facendoli funzionare in sincronismo, questi, uscendo contemporaneamente e in senso opposto, davano luogo a due reazioni che si neutralizzavano a vicenda; venivano quindi eliminati gli urti di scalcio, i quali dovevano essere molto forti data la potenza del motore. Con tale soluzione costruttiva la macchina rimaneva salda sul suo basamento, rendendone possibile il suo utilizzo su un battello.

Modello in legno del motore a stantuffi concorrenti del 1858, conservato presso l'Osservatorio Ximeniano di Firenze (tavola fuori testo).



Purtroppo, a causa dell'insoddisfazione dei due inventori per le prove del motore, questo non venne effettivamente usato e fu poi dimenticato: ad esso è riferito con ogni probabilità un modello in legno conservato negli archivi dell'Osservatorio Ximeniano di Firenze.

4.3.4) Il motore bicilindrico a stantuffi concorrenti

Nel 1858 abbiamo la costruzione di un altro motore, anch'esso a stantuffi concorrenti. Questo motore fu costruito dalla Ditta Pietro Benini. In una fattura di questa Ditta, datata 17 dicembre 1858, sono elencati vari organi della macchina fra cui quattro cremagliere, quattro ruote matte con cinque molle e quattro ruote coniche a 45° con zeppe d'acciaio. In questa fattura non si trova indicato il numero dei cilindri, ma, poiché le cremagliere erano quattro, questi dovevano essere due, ciascuno con due stantuffi. Le ruote matte citate sono le ruote folli che ingranavano sulla cremagliera e trasmettevano il moto solo nella corsa di ritorno, mentre le quattro ruote coniche trasmettevano il moto al telaio di distribuzione.

Questo motore soddisfece gli inventori a tal punto che decisero di costituire una società per lo sfruttamento commerciale su larga scala della loro invenzione.

E' importante rilevare che la fattura citata era stata fatta a debito di P. Barsanti, Matteucci e Co.: questo dimostra che vi era stata la collaborazione di altre persone. Infatti deve essere ricordato che agli inizi del 1857 ai due inventori si erano associati Giovanni Battista Babacci da Forlì e Giovanni Bastianelli; in particolare il primo dette un suo contributo apportando nuove idee nella realizzazione dei motori a stantuffi concorrenti.

L'idea di un motore a stantuffi concorrenti, per eliminare gli effetti sgradevoli degli urti di scalcio, era stata considerata qualche anno prima da Barsanti come è provato da alcuni documenti; Babacci propose, in più, come si è già ricordato, di far comunicare le due camere di scoppio tramite un orifizio, praticato sul fondo di esse, in cui si sarebbe fatta scoccare la scintilla.

In un passo ^[17] del memoriale dei PP. Antonelli e Cecchi, datato 27 febbraio 1858 e diretto a P. Barsanti, troviamo conferma di quanto detto:

"Quale fu primieramente la proposta del Sig. Babacci?"

Essa consisteva nel collocare appositamente due cilindri facendoli insistere sul medesimo fondo per contrapporre lo scalcio dell'uno a quello dell'altro. Ora questa idea fondamentale della proposta Babacci non è nuova e perciò non proprietà sua,

ma di Voi, che prima di lui l'avete concepita qualche anno fa come da buone testimonianze è provato.

Il medesimo Signor Babacci proponeva in più di far comunicare fra loro i due cilindri mediante un orifizio praticato in esso fondo, praticato di più in quell'orifizio lo scatto della scintilla e di incendiare infine e simultaneamente le due camere di mescolanza gassosa procurate in egual misura nei due cilindri. Questo sistema che unicamente per modo di esprimerci chiameremo sistema Babacci, e col quale si potevano eliminare gli urti di scalcio, consisteva dunque nel far nascere due forze nocive ed eguali e nell'applicarle in senso opposto per avere da essi un effetto nullo."

Anche negli Atti del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti ^[18] si parla della collaborazione di Babacci e del suo apporto di idee; in essi si dice: *"Risulta inoltre dagli atti dell'Accademia dei Georgofili, che gli Inventori Fiorentini, associatesi più tardi col Signor G. B. Babacci (cui deve l'idea di far succedere la combustione fra i due stantuffi lasciati liberi nell'atto della esplosione), impresero di far costruire, su questo principio, nell'Officina Benini di Firenze, una seconda macchina (La prima a cui quegli atti si riferiscono è quella del 1856) a due cilindri, la quale veduta in azione, deve aver fatto concepire grandi speranze sulla possibilità che la nuova forza motrice potesse applicarsi con vantaggio su vasta scala, perciocché in breve tempo si è costituita una Società Anonima per continuare le esperienze sopra un argomento di tanta importanza".*

4.3.5) Il motore a stantuffi concorrenti ad azione diretta

Nel 1861 fu costruito un terzo motore a stantuffi concorrenti della potenza di 12 cavalli ^[17], la cui realizzazione venne affidata alla officina Escher Wyss e Co. di Zurigo: questo fu poi esposto alla prima Esposizione Italiana, tenutasi a Firenze nello stesso anno, ottenendo un grande successo.

Di quanto detto troviamo conferma nell'opera di B. Besso, "Le Grandi Invenzioni Antiche e Moderne" Milano 1869 E. Treves e Co. Vol. II, pag. 127 e segg.; anche Tito Martini, in "Breve Storia del Motore Barsanti e Matteucci" (Cfr. Atti del R. Ist. Veneto 1906-1907 T. 66 p. 11), afferma che la macchina fu esposta a Firenze. Inoltre un'altra conferma si trova in un passo degli Atti del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti (let. n°10) in cui si sottolinea il fatto che il motore fu particolarmente apprezzato.

Nell'archivio Matteucci di Volterra sono conservate delle lettere riguardanti questo motore; una in particolare documenta l'arrivo della macchina a Livorno il 2 novembre 1861 destinata alla prima Esposizione Italiana tenutasi a Firenze. Nello stesso archivio è custodita una lettera, datata 26 marzo 1862, che la madre di Matteucci inviò al figlio a Parigi: in un passo di questa (let. n°11) viene ribadito il funzionamento più che soddisfacente ed i giudizi positivi sulla macchina.

Anche nella lettera che P. Barsanti inviò alla Soc. Escher Wyss e Co. di Zurigo in data 13 gennaio 1864 (let. n°12), allo scopo di iniziare le pratiche per un'eventuale ulteriore collaborazione, si parla di questo motore con grande soddisfazione: vi si dice che esso fu presentato a varie esposizioni e che gli apprezzamenti furono tanto numerosi da avere diverse richieste da parte di vari industriali. L'interesse e soprattutto la meraviglia che la macchina suscitò sono facilmente spiegabili se si pensa che a quel tempo i motori conosciuti erano solo quelli attivati dalla forza del vapore o dalla forza idraulica. Di questo motore si parlò molto e comparvero varie recensioni sui periodici dell'epoca.

Comunque all'Esposizione di Firenze non vennero solo elogi; infatti lo stesso Matteucci, nel ringraziare un certo signor Gori per l'assistenza intelligente e premurosa prestata in occasione del montaggio della macchina nelle sale dell'esposizione, afferma che serberà di questi gradita ed eterna memoria *"in compenso delle contrarietà incontrate in quello splendido locale"*. Questo lascia intuire che c'era ancora dello scetticismo da parte di alcuni verso l'invenzione dei due studiosi.

Però, ciò che è più importante rilevare nella lettera ultima citata è che P. Barsanti si riferisce al motore del 1861 dicendolo costruito *"secondo il mio nuovo sistema"*: queste parole, unite ad una nota ¹⁹ a debito della Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci nella quale sono elencate tutte le parti della macchina spedite entro tredici casse con i relativi importi di spese, ci fanno dedurre che il motore era ad azione diretta. Infatti nell'ultimo documento citato non vengono elencate le aste a cremagliera e le relative ruote di ingranaggio, ma si parla di un pesante albero a gomito con quattro manovelle fucinate, di due cilindri con quattro coperchi con premistoppa, quattro coperchi per i cassettei in ghisa e quattro stantuffi in ghisa: quindi è abbastanza fondato concludere che si trattasse di un motore a stantuffi concorrenti ad azione diretta, disposto, come ci riferisce il Besso, orizzontalmente.

¹⁹ La nota è riportata in appendice B dopo le lettere.

Il motivo dell'utilizzo di questo sistema può essere ricercato nel fatto che l'anno precedente era comparso il motore Lenoir, il quale aveva suscitato molto clamore nonostante presentasse uno scarso rendimento termico. Questo sistema aveva dei vantaggi meccanici notevoli; quindi P. Barsanti e Matteucci decisero di costruire una macchina che avesse i pregi di entrambi i sistemi. Per questa ragione il motore era ad azione diretta ma con alto valore del rapporto di espansione, caratteristica questa delle macchine ad azione differita.

Il fatto che la nuova macchina fosse caratterizzata da un alto grado di espansione non è provato esplicitamente da alcun documento; siamo indotti a fare una tale ipotesi dal fatto che tutta l'opera dei due inventori fu diretta ad ottenere una espansione fortemente protratta. Dobbiamo, inoltre, aggiungere che in tutti gli atti relativi all'invenzione, così come in un memoriale scritto dai PP. Antonelli e Cecchi, non viene mai fatto cenno a modifiche riguardanti il rapporto di espansione.

Per questo motore fu pensato di utilizzare la configurazione a stantuffi concorrenti per evitare i contraccolpi, che con il nuovo sistema sarebbero stati più forti, al momento dell'incendio della miscela detonante. Questo motore pone i due inventori come primi fra i realizzatori di motori a stantuffi concorrenti ad azione diretta; tale soluzione sarà successivamente ripresa e migliorata da altri.

Come si è detto prima, il lavoro dette dei buoni risultati dal punto di vista meccanico in quanto la macchina aveva un funzionamento regolare: tuttavia il fatto che P. Barsanti e Matteucci non costruirono altri motori di quel tipo, ma ritornarono alle loro prime soluzioni ci conferma che, nonostante i pregi dimostrati, questo sistema non li convinceva completamente. E' da supporre che, sottoposto a prove di consumo, il motore desse risultati simili a quelli ottenuti anni prima, risultati che avevano fatto optare per il sistema ad azione differita: i vantaggi meccanici connessi all'azione diretta non compensavano gli svantaggi del basso rendimento termico.

Come già accennato, un'idea della struttura di questo motore può essere ottenuta analizzando la nota inviata alla Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci da parte della Società Escher Wyss e Co²⁰. Il motore, come si è precedentemente detto, aveva due cilindri (voce 8)²¹ che appoggiavano su una pesante piastra di base in ghisa (voce 1) ai lati maggiori della quale erano poste due robuste membrature, sempre in ghisa, di irrigidimento del castello, chiamate scudi

²⁰ La nota è riportata in appendice B dopo le lettere.

²¹ Accanto agli organi menzionati è riportata la voce sotto cui si trovano nella nota.

(voce 2). Gli organi mobili erano costituiti innanzitutto da quattro stantuffi in ghisa (voce 16) dotati di aste (voce 21), le quali, a loro volta, erano collegate a dei bilancieri (voce 38) a forma di Z, data la necessità di riportare gli sforzi, trasmessi assialmente dalle aste degli stantuffi, su manovelle sfalsate rispetto all'asse maggiore dei cilindri. Una delle estremità del bilanciere era, quindi, collegata con l'asta dello stantuffo e l'altra con la biella (voce 45) che trasmetteva il movimento all'albero motore (voce 48). L'albero motore era a tre gomiti e faceva girare un volano di notevole peso, 265 Kg, per poter assicurare un movimento abbastanza regolare.

4.3.6) L'ultimo motore

L'ultimo motore fu costruito nel 1863 a Milano dalle Officine Bauer & Co., dette all'Elvetica (successivamente chiamate Soc. An. Breda), che erano a quel tempo la migliore espressione dell'industria meccanica italiana: i lavori di montaggio furono seguiti solamente da P. Barsanti in quanto Matteucci, fin dal marzo 1862, si era gravemente ammalato per un esaurimento nervoso mentre si trovava a Parigi, dove era andato per la sistemazione dei brevetti; la malattia lo costrinse a dare, il 18 dicembre dello stesso anno, le dimissioni da direttore tecnico della Società.

Questo motore è ad un solo cilindro e della potenza di 4 cavalli; esso realizzava la descrizione del brevetto francese del 9 Gennaio 1858, Primo Sistema ²²: infatti presentava lo stantuffo ausiliario.

Le caratteristiche costruttive di questo motore sono state ampiamente illustrate nel paragrafo 4.2.

Questo motore fu esaminato dal Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti; nel volume III, fasc. XVII-XVIII, degli Atti dell'Istituto medesimo ^[18] troviamo la relazione che di esso fecero i Professori Giovanni Codazza, Camillo Hajeck e Luigi Magrini che ne fu il relatore. In tale relazione, letta nell'adunanza ordinaria del 23 luglio 1863, troviamo all'inizio qualche cenno sui tentativi fatti precedentemente da altri inventori, si passa poi a descrivere, sommariamente, la macchina e sono riportate le prove di funzionamento, di potenza e di consumo; è anche fatto un confronto fra i consumi di questo motore, di quello Lenoir e la macchina a vapore; vi si afferma, inoltre la priorità dell'invenzione degli italiani rispetto a quella di Lenoir.

²² Il Secondo Sistema è la soluzione senza stantuffo ausiliario.

Le prove descritte furono fatte nei giorni 5 e 6 Giugno 1863.
 Per calcolare la potenza fu utilizzata una leva di primo genere con il braccio più corto che premeva su un volano ed il braccio più lungo che sorreggeva un peso.
 L'apparato utilizzato è schematizzato in Fig. 16 ^[18]: in A c'è il fulcro, in G il centro di gravità della leva, in B il punto di applicazione del peso aggiunto Q ed in C il centro di pressione.

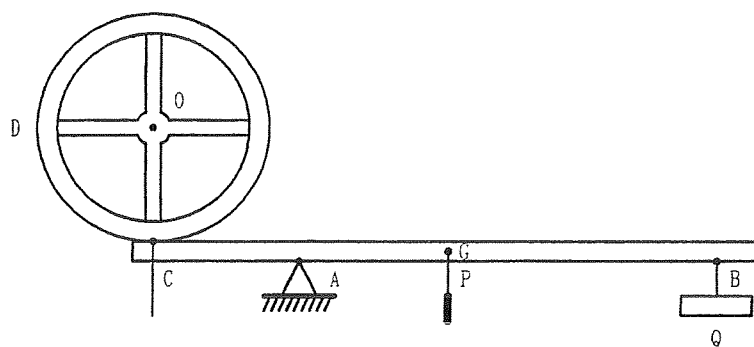


Fig. 16 - Schema del sistema usato per la misura della potenza del motore esaminato dal Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti.

I valori erano i seguenti: il peso P della leva 5,8 Kg; la distanza $AC=0,180$ m.; la distanza $AG=0,196$ m.; la distanza $AB=0,575$ m.; il peso aggiunto $Q=15,5$ Kg; il raggio del volano $DO=0,752$ m.; i giri del volano erano, in media, 48 al minuto primo.

La forza F esercitata in C dalla leva, è

$$F=(Q \cdot AB+ P \cdot AG)/AC$$

e, con i valori riportati sopra, si ha $F=55,83$ Kg.

La velocità v di un punto sul bordo del volano, è

$$v=2\pi \cdot DO \cdot 48/60 = 3,780 \text{ m/s}$$

Assumendo il coefficiente di attrito $\mu=0,42$, il lavoro effettuato in un secondo, dato dal prodotto μFv , risulta $88,59$ Kg \cdot m., a cui corrisponde una potenza di 1,18 Cavalli Vapore (CV).

Una seconda misura della potenza fu ottenuta usando come mezzo frenante un ventilatore: il valore di potenza così ottenuto risultò di 1.06 CV.

Nella relazione del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti, si trova una tabella (Tabella n°1) ^[18] in cui sono riportati i dati riguardanti il consumo del motore, che verranno analizzati in un capitolo successivo, ed il numero di giri del volano durante gli esperimenti effettuati.

Tabella 1 - Risultati delle prove effettuate dalla Commissione del Reale Istituto

MODO DI LAVORO	Durata del lavoro	Numero dei giri del volante in un minuto in media	Gas erogato litri	Gas andato disperso per fughe litri	Gas adoperato per lavoro litri	Gas che si adoprerebbe in un'ora litri	Temperatura dell'acqua refrigerante all'orifizio dello scaricatore T.C.
<i>Esperimento I, 5 giugno 1863.</i> Appoggiando la leva alla periferia del volante.	15',5	48	144	15,5	128,5	497	57° c.
<i>Esperimento II, dello stesso giorno.</i> Tolta la leva ed applicato un ventilatore.	28',5	48	270	28,5	241,5	508	58° c.
<i>Esperimento III, 6 giugno.</i> Ancora col ventilatore, come nel precedente esperimento.	41',-	55	492	41,-	451,-	660	46° c.

Dalla tabella si vede che il secondo giorno il motore funzionava ad un più alto numero di giri: ciò era dovuto al fatto che P. Barsanti si era accorto della presenza di acqua nel tubo della presa del gas, il che ostacolava di tanto in tanto il regolare succedersi delle esplosioni. Il secondo giorno la macchina era stata ripulita internamente e questo permise di ottenere risultati migliori. La potenza era aumentata di circa un settimo con un consumo di gas superiore rispetto a prima di circa un quinto.

La velocità della macchina era sufficientemente regolare nonostante qualche mancata esplosione: ciò era dovuto al fatto che la quantità di moto acquistata dai due volani riusciva a compensare sia i punti morti sia le mancate esplosioni.

L'importanza dell'invenzione fu pienamente compresa dai relatori delle esperienze, come si rivela dagli Atti del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti; infatti vi si scrive che motori di piccola potenza possono essere utili per l'industria quando l'uso della macchina a vapore è sconsigliato sia per il calore ed il fumo che essa produce, sia per il tempo che impiega per essere pronta all'uso. Si fa anche cenno alla possibilità di usare combustibili più economici, diversi dal gas illuminante.

Il Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti conferì a P. Barsanti e Matteucci *"la medaglia d'argento, con giudizio sospeso per premio maggiore dopo l'esito di ulteriori prove"* ^[18]. Questo fu, purtroppo, l'unico riconoscimento ufficiale ottenuto da P. Barsanti in vita.

Il successo ottenuto dal motore del 1863 e le numerose richieste pervenute da industriali italiani e stranieri indussero gli inventori, in accordo con la Società, a decidere di iniziare una produzione su vasta scala; furono presi contatti con le officine di Pietrarsa di Napoli, con quelle Escher Wyss e Co. di Zurigo e con la Società di John Cockerill di Searing presso Liegi in Belgio: la scelta cadde su quest'ultima, all'epoca molto rinomata. P. Barsanti, quasi del tutto cieco, partì quindi per il Belgio nel marzo 1864 assieme a due affezionati compagni, non scolopi, Oreste Pasta e Giovanni Marcucci, portando con sé questa macchina; non sappiamo, però, se egli voleva riprodurre esattamente quella oppure adottare un sistema più semplice già sperimentato anni addietro, che faceva a meno dello stantuffo ausiliario.

Quanto grande fu l'ammirazione, suscitata dalla macchina presso gli ingegneri e gli operai della fabbrica, si può dedurre da un brano (let. n°13) della lettera che P. Barsanti scrisse il 25 Marzo 1864 da Searing al Presidente della Società del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci.

Purtroppo a causa della morte di P. Barsanti, avvenuta poco dopo il suo arrivo a Searing, non fu iniziata alcuna costruzione in serie. La macchina fu lasciata in custodia ad una persona fidata del luogo, mentre i disegni ad essa relativi vennero riconsegnati ai PP. Antonelli e Cecchi.

Capitolo 5

Analisi del ciclo, del rendimento, della combustione e del combustibile impiegato

Se si eccettua la relazione della Commissione del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti, non esiste alcun documento che riporti studi fatti direttamente su un motore Barsanti e Matteucci. L'analisi del ciclo termico, del rendimento e della combustione è stata fatta da vari autori riferendosi ad esperienze compiute su motori successivi che, fondamentalmente, sfruttavano il principio di funzionamento di quello di due inventori italiani, in particolar modo sul motore Otto e Langen.

In questo capitolo sono stati utilizzati i risultati di tali prove, in particolare quelle di Meidinger, in quanto queste esperienze sono fra le più complete riguardo all'analisi dei motori gravioatmosferici.

Si analizza dapprima il ciclo attraverso un diagramma pressione-volume, anche a completamento della descrizione del principio di funzionamento già esposto. Quindi si analizzano i rendimenti confrontandoli con quelli che si potevano avere in altre macchine di quei tempi. Si passa poi a parlare della combustione ed infine si fa un'analisi dei vari combustibili impiegati.

5.1 Il ciclo

Si consideri il diagramma pressione-volume relativo ad uno dei primi motori Otto e Langen senza compressione preliminare riportato nel trattato *Die Gasmachine* dello storico tedesco Schöttler; esso è rappresentato in Fig. 17^[19].

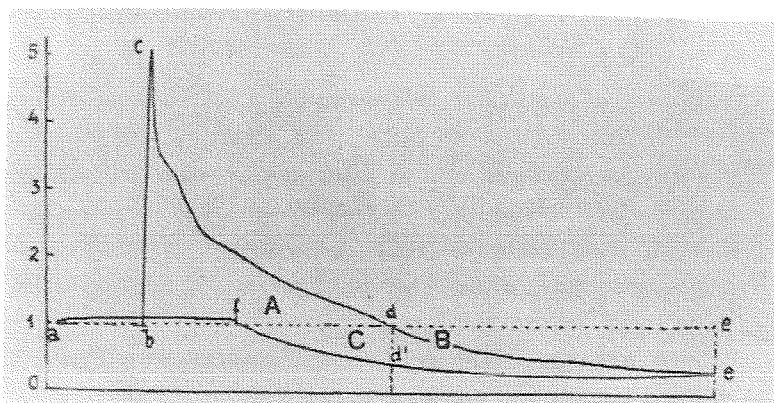


Fig. 17 - Diagramma pressione-volume di uno dei primi motori Otto e Langen senza compressione preliminare.

La linea ab del diagramma rappresenta la fase preliminare di aspirazione della miscela combustibile; segue la linea bc rappresentante la fase di combustione che avviene a volume praticamente costante; la linea cde è relativa alla fase di espansione dei gas combusti, la quale avviene al di sotto della pressione atmosferica per il tratto de ; la linea ef caratterizza la successiva fase di compressione; infine la linea fa rappresenta la fase di scarico a pressione costante. Al punto e abbiamo l'inversione del moto dello stantuffo. Poiché la velocità dello stantuffo nella corsa di ritorno è minore rispetto a quella nella corsa di andata, in quanto è in questa fase che si ha la trasmissione del moto con conseguente aumento delle resistenze passive, viene dato modo al sistema di raffreddamento di diminuire in maniera apprezzabile la temperatura dei gas combusti: questo comporta una linea di compressione più bassa rispetto a quella di espansione. L'area bcd rappresenta il lavoro che si otterrebbe da

un'espansione fino alla pressione atmosferica con successivo scarico a pressione costante; l'area *defd* mostra l'aumento di lavoro che si ottiene dalla sovraespansione.

Nel caso di stantuffo di massa nulla ed in assenza di attriti avremmo avuto che l'area *dee'd*, rappresentante il lavoro accumulato vincendo la pressione atmosferica, avrebbe dovuto uguagliare l'area *bcd b*, rappresentante il lavoro ceduto dai gas allo stantuffo durante la prima parte dell'espansione fino al raggiungimento della pressione atmosferica. Nel caso reale, non verificandosi le ipotesi sopra dette, la seconda area risulta minore della prima.

5.2 Il rendimento

Consideriamo di nuovo la Tabella 1, nella quale sono riportati i consumi del motore a stantuffo ausiliario di P. Barsanti e Matteucci rilevati nelle prove effettuate dalla Commissione del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti.

Il consumo registrato durante queste prove fu dell'ordine di 500 litri per cavallo ora; se il combustibile impiegato fosse stato gas illuminante con potere calorifico di 5000 calorie per m^2 , esso sarebbe stato eccezionalmente favorevole. Nel suo libro *Le grandi invenzioni antiche e moderne* il Besso spiegò che si trattava in realtà di gas ricco, o gas portatile, e che il consumo era equivalente ad 800 litri circa di gas illuminante per cavallo ora.

Nelle Tabelle 2 e 3 ^[20], tratte dal trattato *Calcul et construction des moteurs à combustion* di Hugo Guldner, sono riportate le caratteristiche medie, derivate da alcuni esempi, del gas illuminante e del gas ricco, o gas grasso o gas d'olio, che, provenendo dalla distillazione di oli pesanti, verosimilmente si avvicinava, come composizione e proprietà, al gas portatile.

Tabella 2 - GAS ILLUMINANTE: analisi, potere calorifico e fabbisogno d'aria di combustione secondo una media di Guldner.

Componenti	Analisi per 1 m ³		Potere calor. infer. Cal.	Fabbisogno teorico d'aria	
	in m ³	in kg.		in m ³	in kg.
Idrogeno	0,4850	0,0435	1246,5	1,145	1,480
Metano (CH ₄)	0,3500	0,2504	2980,0	3,285	4,260
Ossido di carbonio	0,0700	0,0876	213,5	0,165	0,212
Idrocarburi pesanti (C ₂ H ₄)	0,0450	0,0563	626,0	0,639	0,820
Anidride carbonica	0,0200	0,0393	-----	-----	-----
Ossigeno	0,0250	0,0036	-----	-0,012	-0,015
Azoto	0,0275	0,0345	-----	-----	-----
In assieme:	1,0000	0,5152	5066,0	5,222	6,757

Tabella 3 - GAS D'OLIO: analisi, potere calorifico e fabbisogno d'aria di combustione secondo una media di Guldner.

Componenti	Analisi per 1 m ³		Potere calor. infer. Cal.	Fabbisogno teorico d'aria	
	in m ³	in kg.		in m ³	in kg.
Idrogeno	0,056	0,005	144	0,132	0,170
Metano (CH ₄)	0,549	0,394	4650	5,152	6,680
Etilene (C ₂ H ₄)	0,289	0,362	4020	4,110	5,280
Ossido di carbonio	0,089	0,111	222	0,021	0,270
Anidride carbonica	0,009	0,018	-----	-----	-----
In assieme:	0,992	0,8904	9036	9,415	12,40

Con la correzione sopra detta si può stimare che il consumo fosse di circa 4000 calorie per cavallo effettivo (5440 cal. per KW): questo risultato si avvicina, come ordine di grandezza, al consumo del motore di Otto e Langen. Inoltre si può rilevare che la dispersione di gas per fughe era costante e di un litro al minuto primo.

Analizzando i consumi registrati dalla Commissione abbiamo un rendimento globale di oltre il 14%; inoltre, se orientativamente attribuiamo al motore un rendimento meccanico di circa $\frac{2}{3}$, si ha un rendimento termico, ossia il rendimento della pura trasformazione di calore in lavoro, del 21% circa, valore molto elevato per quei tempi.

Perplessità sui risultati delle esperienze effettuate, sebbene fossero stati raccolti con grande scrupolo e sottoposti a varie riprove, furono espresse successivamente da un'altra Commissione del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti, i cui commissari erano ancora i Professori Codazza e Hajech, incaricata di esaminare il motore *igneo-pneumatico* ideato e costruito da Babacci: infatti il non aver potuto impiegare il freno di Prony durante le esperienze aveva dato adito a dei dubbi sulla effettiva validità delle misure. Tuttavia a suffragare la correttezza di quelle prove vi sono le esperienze compiute da Meidinger ^[9] nel 1868 su un motore Otto e Langen della potenza di mezzo cavallo, diametro interno di 150 mm., corsa massima di 980 mm. lunghezza della frazione di corsa destinata all'aspirazione di 103 mm. (quindi il massimo rapporto volumetrico di espansione era di 103/877, ovvero superiore a quello che si aveva nel motore Barsanti e Matteucci), peso dello stantuffo e dell'asta di 21,83 Kg, volano del peso di 160 Kg e del diametro di 1260 mm.. In Tabella 4 ^[9] sono riassunti i risultati ottenuti su questa macchina.

Dalla tabella si rileva che il motore di Otto e Langen esaminato aveva, nel caso più favorevole, un rendimento globale massimo del 15,4%, che, togliendo il consumo della fiammella, aumentava ad oltre il 16%.

Il motore dei due italiani aveva quindi un rendimento quadruplo rispetto a quello dei buoni impianti a vapore del tempo (secondo il Colombo una buona motrice a vapore da 100 cavalli consumava, nel 1887, circa 2 Kg di carbone per cavallo-ora, scendendo ad 1,5 Kg solo in casi particolari) e più che doppio di quelli dei successivi motori ad azione diretta senza compressione preliminare. Solo nel 1885 si ebbero motori a quattro tempi capaci di eguagliare questi rendimenti: da notare che tali risultati furono raggiunti in macchine più potenti, soggette quindi a minore passività in generale ed, in particolare, a minori dispersioni di calore.

Tabella 4 - Prove eseguite su un motore Otto e Langen da ½ HP.

Determinazione N°	1	2	3	4	5	6	7
Rotazioni albero al min.	106	90	75	60	40	75	75
Escursioni stantuffo al min.	42	37	34	29	20	13	29
Potenza al freno							
in Kg _m	47,7	44,5	40,1	35,5	26,4	13,4	13,4
in cavalli	0,635	0,59	0,54	0,47	0,35	0,18	0,18
Consumo con fiammelle di accensione in m ³ /h	0,546	0,51	0,453	0,382	0,283	0,212	0,283
Consumo fisso fiammelle in m ³ /h	0,0424	0,0424	0,0424	0,0424	0,0424	0,0424	0,0424
Consumo (convenzionale) per cavallo ora in m ³	0,835	0,83	0,81	0,757	0,742	0,993	1,39
% in volume di gas nella composizione della carica	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	8,6
Pressione media eff. in Kg _p /cm ²	0,395	0,415	0,416	0,425	0,46	0,35	0,16
Rendimento globale in %	13,7	13,8	14,2	15,2	15,4	11,6	8,25

5.3 La combustione e la sua influenza sui rendimenti

Prove effettuate da Meidinger ed altri Autori ^[9] hanno rilevato la presenza di notevoli quantità di residui incombusti nei gas di scarico dei primi motori gravioatmosferici di Otto e Langen; quindi è da ritenere estremamente probabile la presenza di tali residui anche in quelli dei motori ideati da P. Barsanti e Matteucci, data la notevole somiglianza costruttiva: questo fatto, unito alle combustioni tardive, comportava delle ripercussioni negative sul rendimento. Una combustione più compiuta ed istantanea avrebbe causato una maggiore pressione di spinta iniziale sullo stantuffo con conseguente miglioramento del ciclo. Esaminando il diagramma di Fig. 18 vediamo che la pressione massima raggiunta era dell'ordine delle 5

volume, del 14% di gas nella carica, ci confermano questo valore. Il Prof. Enrico Bernardi ²³ valutò possibile raggiungere le 10 atmosfere in caso di combustione compiuta ed istantanea usando una percentuale, in volume, del 13% di gas nella carica.

L'incompletezza della combustione è sicuramente il maggior difetto del motore; un suo miglioramento avrebbe avuto ripercussioni positive sul rendimento sia per la maggiore quantità di calore somministrato sia per l'aumento del rapporto di espansione dovuto al maggior impulso iniziale trasmesso allo stantuffo. Da valutazioni fatte ancora dal Prof. Bernardi è possibile raggiungere un rapporto di espansione teorico di 1 a 17,5 qualora si ipotizzi combustione completa, espansione rigorosamente adiabatica, uno stantuffo leggero, attriti trascurabili e assumendo di usare una miscela con proporzione in volume del gas del 13%. Con tale rapporto di espansione il rendimento termico risulterebbe enormemente accresciuto; è necessario, però, osservare che per avere una combustione più completa si sarebbe dovuto utilizzare uno stantuffo più pesante di quello generalmente utilizzato nei motori gravioatmosferici effettivamente costruiti: il maggior peso dello stantuffo avrebbe limitato la corsa di espansione e, conseguentemente, il rendimento termico stesso.

Una combustione più perfetta, anche se non completa, è quindi una delle condizioni che avrebbe potuto portare ad un rendimento termico migliore.

Vediamo adesso, con maggior precisione, i possibili effetti positivi sulla combustione che potevano derivare da un opportuno peso dello stantuffo. Infatti uno stantuffo di massa maggiore avrebbe permesso di raggiungere pressioni di esplosione più alte in quanto avrebbe offerto una maggiore resistenza alla pressione di esplosione stessa favorendo, così, la completezza della combustione. Ovviamente lo stantuffo non poteva essere scelto pesante a piacere poiché un peso eccessivo avrebbe diminuito il rapporto di espansione annullando i vantaggi di una combustione più compiuta. Si deve tenere presente che una simile valutazione non poteva farsi ai tempi della costruzione dei primi motori in quanto si riteneva che la combustione fosse istantanea e completa e che l'espansione si avvicinasse tanto maggiormente a condizioni adiabatiche quanto maggiore era la velocità di salita dello stantuffo:

²³ Il prof. E. Bernardi ha fatto, nella seconda metà del secolo scorso, vari studi sui motori a gas, fra cui quelli Otto e Langen: inoltre ha ideato e costruito alcune macchine.

questo portava quindi a ritenere che quanto minore era il peso dello stantuffo tanto maggiore era l'espansione ed i vantaggi che da essa derivavano. Il Prof. Bernardi fece a tal proposito delle esperienze ^[9] su un motore di piccola potenza del diametro di 54 mm., un peso per lo stantuffo e l'asta di 0,150 Kg ed un numero massimo di colpi di 140 al minuto: egli vide che vi erano degli effetti benefici sul consumo derivanti da un peso minore, tuttavia aveva delle difficoltà a misurare piccole quantità di gas e questo fa nascere dei dubbi sulle sue misure. Il Prof. Bernardi stesso, anche se convinto della convenienza di avere un equipaggio mobile di piccola massa, dubitò dei suoi risultati come ebbe a dire in una sua memoria di cui riportiamo un passo ^[9]. *"Se l'esplosione fosse veramente istantanea, si potrebbe facilmente dimostrare che si avrebbe tanto maggiore vantaggio, quanto più piccola fosse la massa spinta dall'espansione dei gas esplosivi. Ciò però non è assolutamente vero in pratica, e con molta probabilità il massimo effetto utile verrebbe dato da quella macchina nella quale lo stantuffo avesse una data massa determinata con leggi ignote, con cui si sviluppa e propaga il calorico nella massa esplosiva, e si comunica alle pareti fredde del cilindro"*. Successivamente il Prof. Bernardi fece altre esperienze su un motore più potente a cilindro verticale del diametro di 83 mm. e notò che il consumo, misurato questa volta in maniera più precisa, era superiore al previsto. Nella Tabella 5 ^[21] sono riportati i risultati di varie prove fatte dal Prof. Bernardi variando, attraverso l'aggiunta di dischi di piombo, il peso dello stantuffo: si può notare che le altezze raggiunte dallo stantuffo non variavano con l'aumentare del peso mentre i tempi di salita crescevano con relativa lentezza.

Nella tabella vediamo che l'ultima prova era stata fatta con lo stesso peso iniziale, questo per verificare se fossero cambiate le condizioni di utilizzo del motore; effettivamente un mutamento si era verificato: l'altezza raggiunta risultava inferiore rispetto a quella ottenuta nella prima prova e questo in conseguenza, probabilmente, dell'impregnarsi di umidità delle guarnizioni di canapa. Sarebbero stato utile avere per ciascuna delle prove elencate in tabella i relativi diagrammi pressione-volume che avrebbero mostrato le varie pressioni di esplosione raggiunte. Inoltre tali diagrammi avrebbero permesso di vedere l'andamento della pressione nella fase di espansione in modo da poter valutare se il guadagno derivante dall'accumulo di maggiori quantità di energia da parte dello stantuffo venisse neutralizzato, durante la fase di ritorno, dalla maggiore contropressione che si veniva ad esercitare sui gas raccolti entro il cilindro. Comunque le esperienze del Prof. Bernardi furono dirette a cercare di vedere quali erano le ripercussioni dovute al raffreddamento del cilindro

sulla compiutezza dell'espansione; per mezzo di diagrammi sollevamento-tempo egli studiò le oscillazioni successive che lo stantuffo compiva dopo un'esplosione prima di ridursi al riposo, per avere un'idea di quella che sarebbe stata, nel caso teorico di espansione adiabatica, l'altezza probabile di sollevamento.

Tabella 5 - Risultati ottenuti dal Prof. Bernardi nelle esperienze sui motori atmosferici

N°	Altezza della carica (in mm)	% del volume di gas presente nella miscela	Peso dello stantuffo (in Kgp)	Altezza raggiunta dallo stantuffo (in mm)	Tempo impiegato (in sec)
1	16	13	0,560	135	$4,6 \cdot 10^{-2}$
2	"	"	1,035	134	"
3	"	"	1,510	131	$5,5 \cdot 10^{-2}$
4	"	"	1,958	133	"
5	"	"	2,410	131	$6,2 \cdot 10^{-2}$
6	"	"	2,825	130	"
7	"	"	0,560	128	"

Il Prof. Bernardi cercò inoltre di migliorare meccanicamente la trasmissione intermittente di lavoro fra lo stantuffo e l'albero motore. A tal fine realizzò una originale trasmissione a biella e manovella, con giunto risolvibile fra asta dello stantuffo e biella mediante un dispositivo a frizione.

Ritornando al motore di P. Barsanti e Matteucci è da aggiungere che esso era ovviamente perfezionabile anche dal punto di vista di una diminuzione delle passività meccaniche con conseguente ulteriore miglioramento del suo rendimento.

5.4 Il combustibile

Il problema della scelta del combustibile da impiegare fu una delle questioni che dettero più preoccupazioni ai due inventori: infatti non dovevano solo cercare un combustibile che avesse caratteristiche atte ad ottenere la miglior resa da parte del

motore, ma anche che fosse il più economico possibile in quanto un costo di esercizio troppo elevato avrebbe annullato uno dei vantaggi nei confronti della macchina a vapore. Quindi P. Barsanti e Matteucci effettuarono una serie approfondita di studi sul tipo di miscela combustibile da impiegare; informazioni molto utili sulle prove compiute sono contenute nel Manoscritto Ximeniano.

I primi esperimenti furono effettuati con una miscela di idrogeno puro ed aria. La ragione per cui inizialmente le esperienze siano state fatte usando come combustibile l'idrogeno può ricercarsi nel fatto che le prime idee erano venute a P. Barsanti dai suoi studi sulla Pistola di Volta. I due inventori ritenevano che le proporzioni teoriche dell'idrogeno e dell'aria, affinché la combustione risultasse completa, dovessero essere di 1 a 5; in realtà il volume d'aria teoricamente necessario, a causa della diatomicità della molecola di ossigeno, è meno della metà di quello da loro supposto: infatti, considerando che nell'aria secca a livello del mare la percentuale in ossigeno è il 20,95%, si ha un volume di ossigeno ogni 4,77 volumi di aria. Il calcolo teorico fatto da P. Barsanti e Matteucci non ebbe, comunque, alcuna conseguenza sulle loro ricerche in quanto la natura e le proporzioni della miscela furono calcolati sperimentalmente: essi trovarono che, per avere la massima corsa dello stantuffo, il volume d'aria doveva essere 7 volte quello dell'idrogeno.

I due inventori provarono anche una miscela di idrogeno ed ossigeno puro per vedere gli effetti prodotti dall'eliminazione di elementi, dei quali il principale era l'azoto, estranei alla combustione: essi si accorsero che le corse dello stantuffo risultavano più violente, più rapide e più corte. La condensazione del vapor acqueo prodotto nella combustione di idrogeno con ossigeno è alla base del motivo che comporta una minor corsa dello stantuffo; infatti la presenza preponderante dell'azoto nell'aria tende ad isolare gran parte delle molecole del vapor d'acqua e, conseguentemente, impedisce la loro condensazione. Invece quando si usa ossigeno puro, le molecole del vapor d'acqua, venendo a contatto con le pareti interne del cilindro e con la testa dello stantuffo, tendono facilmente a condensarsi: questo causa una repentina diminuzione della pressione e, conseguentemente, un più veloce arresto del pistone.

L'ossigeno puro ^[22] veniva ricavato da elettrolisi dell'acqua, ma il suo utilizzo veniva sconsigliato per ragioni di carattere economico che non avrebbero reso competitivo il motore nei confronti della macchina a vapore: questo ci fa escludere la possibilità che anche l'idrogeno fosse ottenuto tramite lo stesso procedimento elettrolitico. In quale maniera fosse prodotto l'idrogeno puro, del quale intendevano

servirsi P. Barsanti e Matteucci, non lo sappiamo: possiamo, comunque, ricordare i due processi noti al tempo delle ricerche.

Il primo metodo era stato concepito da Meunier e Lavoisier in Francia e tentato da Fontana in Italia tra il 1781 ed il 1784; inoltre venne usato nel 1794 da Courcelle per il riempimento del primo pallone aerostatico e trovò applicazione industriale grazie a Gillard tra il 1846 ed il 1850: esso consisteva nel far passare vapore d'acqua su ritagli o trucioli di ferro portati a temperatura elevata. Il secondo metodo, che precede in ordine di tempo l'altro, consisteva nel fare agire acido solforico diluito su rottami di ferro, entro botti internamente rivestite di piombo.

P. Barsanti e Matteucci, quindi, scartarono la possibilità di usare l'ossigeno puro come comburente e cercarono quale era la migliore combinazione fra idrogeno ed aria.

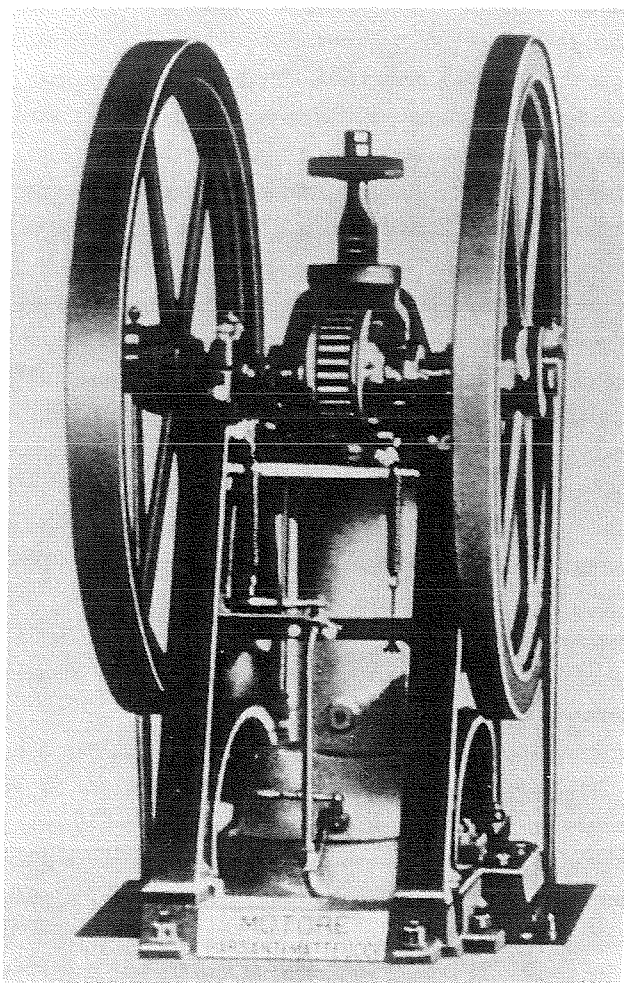
L'idea di far avvenire la combustione dell'idrogeno in eccesso d'aria fu loro suggerita dalle esperienze con l'ossigeno puro; infatti una maggior quantità di aria avrebbe fornito più ossigeno per la combustione ed avrebbe avuto l'effetto di ritardare la condensazione del vapor d'acqua, che diminuiva l'entità dell'espansione. Analizzando il processo, dobbiamo dire che la maggior disponibilità di ossigeno, dovuta all'eccesso d'aria, aumentava la probabilità che le molecole del gas combustibile venissero tempestivamente in contatto con quelle del gas comburente: questo portava ad un maggior sviluppo di calore a parità di massa di combustibile impiegata.

Il passo successivo fu, come si legge nel Manoscritto Ximeniano, di sostituire *"all'idrogeno puro l'idrogeno bicarbonato, ossia l'idrogeno che serve all'illuminazione della città di Firenze"*.

Quale tipo di gas rappresenti l'idrogeno bicarbonato è difficile a dirsi: da quanto si afferma nel Manoscritto Ximeniano sembrerebbe trattarsi di gas illuminante. Quest'ultimo gas proviene dalla distillazione del carbon fossile e gli elementi principali che lo costituiscono sono carbonio, idrogeno ed ossigeno. Il processo di distillazione consiste nel mettere il carbon fossile in grossi recipienti, chiamati "storte", e portarlo ad una temperatura di 900-1000 gradi: il carbon fossile libera una serie di gas, elencati in Tabella 6 ^[23], che nel loro insieme prendono il nome di gas illuminante.

In Tabella 6 non sono riportati i vari gas prodotti dal processo suddetto; sono molti i fattori che determinano le quantità relative, fra questi il tipo di carbon fossile usato,

il tempo e la temperatura di riscaldamento. Comunque il gas illuminante era composto in prevalenza di etilene, metano, ossido e biossido di carbonio ed idrogeno.



Fotografia del Motore Barsanti e Matteucci di costruzione Bauer presentato (1863) all'Istituto Lombardo, portato successivamente in Belgio (1864) da P. Barsanti e sperimentato presso le Officine Cockerill (Tavola fuori testo)

Tabella 6 - Composti presenti nel gas illuminante secondo una tabella riportata dall'Enciclopedia delle Arti e Industrie ^[23].

Sostanze che danno fiamma luminosa	Gas	Acetilene C_2H_2 Etilene C_2H_4 Propilene C_3H_6 Butilene C_4H_8
	Vapori	Benzina C_6H_6 Stirolene C_8H_8 Naftalina $C_{10}H_8$ Acetilnaftalina $C_{12}H_{10}$ Fluorene $C_{13}H_{10}$ Propile C_3H_7 Butile C_4H_9
Sostanze che danno fiamma	poco luminosa	Idrogeno H_2 Carbole (gas delle paludi) CH_4 Ossido di carbonio CO
Sostanze che alterano la purezza	della fiamma	Acido carbonico CO_2 ²⁴ Ammoniaca NH_3 Cianogeno CN Solfocianogeno CNS Carburi di idrogeno solforati e Solfuro di carbonio CS_2 Idrogeno solforato SH_2 Azoto N_2

Nella tabella 7 ^[23] sono riportate le proporzioni dei principali costituenti del gas illuminante a seconda del tempo di distillazione: il gas migliore come potere di illuminazione si aveva nella fase iniziale del riscaldamento, ma la quantità prodotta era scarsa e questo comportava un prolungamento, solitamente compreso fra le 4 e le

²⁴ Nell'Enciclopedia delle Arti e Industrie troviamo la dizione "acido carbonico" al posto di "anidride carbonica".

5 ore, del tempo di riscaldamento medesimo, cercando un compromesso fra la qualità e la quantità.

Tabella 7 - Proporzioni dei principali costituenti il gas illuminante a secondo del tempo di distillazione (i dati sono espressi in percentuale sul volume del gas).

n° ore	Idrogeno bicarbonato	Idrogeno protocarbonato	Idrogeno	Ossido di carbonio	Azoto	Rapporto del potere illuminante
1	13	82,5	0	3,2	1,3	54
2	12	72,0	8,8	1,9	5,3	48
3	12	53,0	16,0	12,3	1,7	40
4	7	56,0	21,3	11,0	4,7	35
5	8	20,0	60,0	10,0	10,0	10

La Société Civile Lyonnaise ha gestito l'illuminazione a Firenze dal 1847 al 1925; purtroppo è andato perso l'archivio di questa società (ricerche sono state effettuate a Lione e presso gli Archives Nationales di Parigi dal Prof. A. Giuntini ^[24]) e l'archivio storico di Firenze non contiene informazioni utili a conoscere l'esatta composizione del gas illuminante distribuito. D'altra parte, proprio per le sue caratteristiche di produzione, più che conoscere la composizione percentuale di quello che avrebbe dovuto essere fornito, sarebbe utile sapere quella specifica del gas usato dai due inventori al momento delle prove.

Pur non avendo informazioni sulla composizione del gas illuminante sappiamo, da un contratto stipulato il 10 luglio 1845 dal Comune di Firenze con la società francese per la sua fornitura, che questo era prodotto dalla distillazione del carbon fossile con aggiunta del 5% di "resine" per aumentarne il potere illuminante. Il gas usato a Firenze negli anni 1853 e 1854 avrebbe dovuto avere un potere calorifico oscillante fra le 6000 e le 7000 calorie così ripartite: 5000 provenienti dal gas di distillazione e le rimanenti dalle "resine" di arricchimento. Riguardo al potere calorifico si è indotti a credere che esso dovesse aggirarsi intorno alle 7000 calorie poiché questa cifra è quella che più si avvicina ai risultati migliori ottenuti con la proporzione di una parte di gas e 12 di aria. Riguardo, invece, alle "resine" usate non è ancora chiaro che cosa

esse siano anche se è stato escluso che si trattasse di colofonia (residuo solido, giallastro, della produzione di trementina, usato per vernici, mastici, adesivi, lubrificanti, resine artificiali ed in farmacia) od altri prodotti del genere; l'ipotesi più probabile è che fossero sanse di olio d'oliva, ma potrebbero anche essere state oli di scisti asfaltici, aggiunti in partenza al carbone.

Il potere calorifico nel caso di una miscela idrogeno-aria nelle proporzioni volumetriche di 7 a 1 è di 321 cal. per m³, mentre per un gas illuminante, come quello citato nella tabella n°2, con 12 volumi di aria è di 389 cal. per m³.

Nonostante non si conosca l'esatta composizione del gas illuminante di cui si parla nel Manoscritto Ximeniano, l'identificazione dell'idrogeno bicarbonato con esso è da mettersi in dubbio in quanto è eccessiva la quantità di aria che, secondo i due inventori, occorrerebbe per avere il massimo effetto. Infatti nel Manoscritto si afferma che erano necessari 12 volumi d'aria per 1 volume di gas mentre le esperienze compiute da Meidinger con gas illuminante dettero un rapporto 8:1 ed altre, compiute da Bernardi, fecero ottenere i migliori risultati con rapporti oscillanti fra 7,1:1 e 7,7:1.

L'ipotesi di identificare l'idrogeno bicarbonato con il componente maggiormente presente nel gas illuminante, che, come si vede dalla tabella n°2, risulterebbe essere il metano, è stata scartata in quanto nel Manoscritto Ximeniano ci si riferisce ad esso come idrogeno protocarbonato.

Si deve dire che al tempo delle ricerche si indicavano con il nome di idrogeno bicarbonato gli idrocarburi a due o più atomi di carbonio. Nell'Enciclopedia delle Arti ed Industrie si trova, nella parte riguardante il gas illuminante^[23], una frase che sembrerebbe far propendere per l'identificazione dell'idrogeno bicarbonato con l'etilene: *“Così il gas, mentre è per la massima parte costituito di bicarburo di idrogeno (etilene), idrogeno protocarbonato (gas delle paludi), ...”*

L'etilene è uno dei maggiori componenti del gas d'olio a cui si fa riferimento nella tabella n°3; quindi si potrebbe supporre che il gas impiegato facesse parte della categoria dei gas ricchi a cui apparteneva anche quello impiegato dalla Commissione del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti nelle esperienze su uno dei motori Barsanti e Matteucci: il Besso aveva calcolato che quel gas doveva avere un potere calorifico che era 8/5 di quello del gas illuminante, facendolo rientrare nella categoria dei gas ricchi (o gas d'olio). Si deve, però, osservare che il gas descritto nella tabella n°3 teoricamente richiede solo 9,415 volumi di aria con la conseguenza che i 12 volumi citati nel Manoscritto avrebbero solo un'eccedenza del 27-28%, che

non possiamo certamente considerare trascurabile. Il gas d'olio o gas ricco di cui si parla era, probabilmente, ottenuto da cracking termico partendo da oli di scisto, contenente in prevalenza etilene, metano, ossido di carbonio e tracce di idrogeno ed anidride carbonica.

Le ipotesi sulla natura dell'idrogeno bicarbonato sono varie; tuttavia gli elementi per una sua identificazione sicura non sono sufficienti: questo non ci permette, quindi, di poter risolvere il problema in maniera univoca.

Nonostante gli sforzi dei due inventori il costo di esercizio del motore risultò superiore a quello della macchina a vapore. Comunque l'utilizzo del motore, considerando le successive elaborazioni di altri, che pure conservavano un costo di esercizio maggiore rispetto a quello delle macchine a vapore, fu preferito nella piccola industria per motrici non superiori ai 20 cavalli per i pregi che aveva. I motori a gas di potenza rilevante si introdussero nell'industria soltanto quando si riuscì a produrre un combustibile di costo assai minore del gas illuminante: esso era il "gas povero". Il gas povero ha un potere calorifico di 1615 cal./Kg_p e si ottiene iniettando in un apposito gasogeno, sotto uno strato di combustibile incandescente, aria e vapore. Esso è costituito da ossido di carbonio, idrogeno ed azoto con una composizione percentuale in peso rispettivamente di 47,2; 1,4 e 43,2 ed in volume di 39,7; 17,1 e 43,2; questi dati sono validi per un gas povero ideale in quanto in quello reale troviamo la presenza di anidride carbonica a causa del completarsi in qualche zona del gasogeno dell'ossidazione del carbonio: questo comporta una riduzione del potere calorifico ad un valore compreso fra le 1220 e le 1400 cal./Kg_p.

Capitolo 6

Raffronto del motore Barsanti e Matteucci con il motore Lenoir e con il motore a compressione preliminare

Uno dei punti fondamentali degli studi di P. Barsanti e Matteucci fu quello relativo al problema della scelta del sistema di trasmissione del lavoro prodotto dal movimento dello stantuffo. Dal capitolo 4 sappiamo che essi preferirono adottare il sistema ad azione differita anche se in un motore adottarono quello ad azione diretta. Si espongono i motivi della loro scelta e della superiorità del sistema da loro adottato nei confronti del sistema adottato nel motore Lenoir. Segue un confronto fra il ciclo del motore Barsanti e Matteucci e quello del motore a compressione preliminare che apparve successivamente, nel 1878.

6.1 Il motore Barsanti e Matteucci ed il motore Lenoir: la scelta fra il sistema ad azione differita e quello ad azione diretta

La scelta del modo con cui trasmettere il moto dello stantuffo fu fatta dai due inventori dopo varie prove effettuate sui due sistemi fondamentali; infatti esistono molti documenti che provano, direttamente od indirettamente, tali studi.

Fra questi possiamo citare la lettera di Matteucci all'Avv. Raggio di Genova in data 14 Marzo 1865 nella quale egli scrive ^[14]:

"Se noi avessimo creduto il sistema Lenoir una soluzione del problema, l'avremmo fatto di pubblica ragione prima ancora che si parlasse di Lui, avendo fin dall'anno dell'ultimo colera adattato il -tiroir- di una piccola macchina a vapore a ricevere e a incendiare il gas. Ma il meschino effetto ottenuto ci risolvette a ritornare al primitivo nostro concetto.

Anche a me parve regolare l'andamento del motore Lenoir, ma per variare e limitare la velocità non può avere un mezzo diverso da quello da noi usato fin ora di regolare con un Robinet l'introduzione del gas."

L'ultimo colera precedente l'anno 1865 fu quello del 1854: questo concorda con l'inizio degli studi sul motore che sono di poco precedenti questa data.

Altra prova si ha nella lettera del 16 Dicembre 1863 mandata da P. Barsanti alla Soc. An. Cockerill di Searing (Belgio) allo scopo di iniziare le trattative per la costruzione, su vasta scala, dei motori che incominciavano ad essere richiesti da parte di industriali sia italiani che stranieri. In tale lettera P. Barsanti, dopo aver parlato del motore, scrisse ^[14]:

"Ciò può darsi che vi rammenti il motore Lenoir; ma io vi dichiaro in anticipo, che la mia opera non ha, con la francese, alcuna specie di relazione.

Il sistema Lenoir fu precedentemente studiato da me, prima che la sua scoperta fosse annunciata al pubblico, e rigettata perché essa era insufficiente ad essere applicata in grandi proporzioni e perché essa era al disotto della macchina a vapore in economia.

Quando ho potuto alla fine sperimentare il mio sistema, fortunatamente esso non ha ingannato la mia attesa; ciò che mi ha incoraggiato ad esperimenti ancor più seri, etc."

In queste due lettere appare evidente come l'idea del motore ad azione diretta non fosse estranea ai due inventori; in particolar modo dalla seconda traspaiono i motivi del rigetto di tale sistema: l'impossibilità di applicazione per grandi potenze ed il basso rendimento economico rispetto alle macchine a vapore dell'epoca.

Simili affermazioni ci fanno inoltre capire che P. Barsanti e Matteucci realizzarono materialmente il motore ad azione diretta: infatti, per poter affermare che era, da un punto di vista economico, svantaggioso, dovevano aver effettuato delle prove sui consumi (cosa impossibile se non avessero avuto a disposizione un motore che sfruttasse quel sistema); inoltre dovevano aver sperimentato motori di varia potenza se dicono che la violenza degli urti che la macchina riceveva al momento dell'esplosione erano sempre più forti all'aumentare della potenza.

Un'altra conferma ci viene dalla lettera (let n°14), datata 26 giugno 1854, del Signor Haehner, il quale aveva avuto l'incarico di svolgere le pratiche per il conseguimento del primo brevetto inglese.

Dalla data della lettera si deduce che i due inventori erano arrivati alla realizzazione di un loro motore ad azione diretta molti anni prima di quello di Lenoir.

Il motore del meccanico francese presentava gli stessi inconvenienti previsti dai due italiani, in particolar modo lo scarso rendimento economico.

P. Barsanti e Matteucci ritennero, per motivi di ordine pratico, il sistema ad azione diretta una soluzione di minore interesse da attuarsi solo in casi particolari, come, ad esempio, nei motori per la navigazione; inoltre, nel brevetto francese del 1858, troviamo un'indicazione non avversa a quel sistema relativamente alla costruzione di locomotive a motore.

Sul motore Lenoir furono effettuate delle prove di consumo, i cui risultati furono raccolti e pubblicati sul numero del 4 Aprile 1861 degli "Annales du Conservatoire d'Arts et Metie", ad opera dell'ingegnere Tresca, direttore del "Conservatoire" a Parigi. Nelle Tabelle 8, 9 e 10 ^[9], riportate dal trattato del Guldner, sono riassunti i risultati di varie prove di consumo, fra cui quelle effettuate dall'ingegnere Tresca, compiute su motori ad azione diretta progettati da Lenoir e da Hugon²⁵: in esse vediamo che la macchina di Lenoir aveva un consumo maggiore di quella di Hugon spiegabile col fatto che quella di Hugon compiva una aspirazione di più breve durata, corrispondente a 4/10 della corsa, e, inoltre, il sistema di accensione a fiammelle a gas garantiva una maggior sicurezza di combustione in confronto a quella derivante dall'uso di scintille elettriche ottenute per mezzo degli apparecchi di cui si disponeva all'epoca.

²⁵ Il francese Hugon costruì nel 1858 un motore ad azione diretta.

Tabella 8 - Motori Lenoir di costruzione francese.

Numero d'ordine	1	2	3	4	5	6
Ricerche di:	Tresca				Sec. Industr. di Moulhouse	Auscher
Diametro del cilindro (in mm)	300		160	180	180	260
Corsa (in mm)	300		300	100	300	480
Giri	47		81	130	-	-
Potenza effettiva (cav.)	1,85	1,42	1,02	0,57	1,0	2,82
Consumo di gas per cav. eff. h (m ³)	2,71	3,43	2,88	3,48	2,98	-
Percentuale di gas della carica (%)	8,3	-	-	10	10	-
Pressione d'esplosione (atm.)	-	-	-	-	-	-
Pressione media eff. (atm.)	0,425	0,33	0,47	0,39	-	-
Rendimento globale (%)	4,65	3,67	4,36	3,62	4,23	-

Tabella 9 - Motore Lenoir di costruzione Kuhn 108 X 167 mm - Ricerche di Eith, 1861.

Numero d'ordine	1	2	3	4	5
Giri al minuto	130	105	100	105	100
Potenza effettiva (kg _m al sec.)	0	22,4	36,4	52,2	60,2
Consumo per cav. eff. h (m ³)	-	5,45	4,19	2,82	2,89
Percentuale di gas della carica (%)	3,6	5,6	7,1	6,8	8,4
Pressione d'esplosione (atm.)	2	2,5	3,5	4,5	5 (*)
Pressione media eff. (atm.)	-	-	-	1,02	1,19
Rendimento globale (*) (%)	-	2,3	3	4,45	4,35

(*) Calcolato attribuendo al gas un pot. cal. di 5000 Cal. al m³

Tabella 10 - Motore Hugon, Ricerche di Tresca, 1866-67.

Diametro	mm	380
Corsa	mm	320
Giri		52
Potenza effettiva	cav.	2,07
Consumo di gas per cavallo effettivo	m ³	2,445
Consumo con fiammelle di accensione	m ³	2,573
Percentuale di gas		7,5 % circa
Grado di introduzione		0,419 ÷ 0,446
Pressione d'esplosione		2,78 ÷ 3,29
Acqua iniettata	litri h	58,2
Temperatura gas di scarico	°C	186
Pressione media indicata		0,479 ÷ 0,584
Rendimento globale		5,17 %

Dalle prove effettuate dall'ingegnere Tresca emerse che il costo per cavallo-ora era a Parigi ^[18]:

di franchi 0,825 per metri cubi 2,750 di gas illuminante, a franchi 0.30 al m³

di franchi 0,100 per grammi 36 d'olio di ingrasso

di franchi 0,030 per il consumo della pila

per un totale di franchi 0,955;

mentre a Milano risultava:

di franchi 1.375 per metri cubi 2,750 di gas illuminante, a franchi 0.50 al m³

di franchi 0,130 per l'ingrassamento e per la pila

per un totale di franchi 1.505.

Questa spesa è assai rilevante se si confronta con quella di una macchina a vapore: essa era a Parigi di franchi 0,20 per cavallo-ora per le macchine ordinarie, non consumando queste più di 5 chilogrammi di carbone; tale spesa si riduceva a franchi 0,12 per le macchine di più recente costruzione, alle quali occorre solo 3 chilogrammi di carbone; a Milano tali costi erano rispettivamente di franchi 0,30 e franchi 0,18.

Esperienze del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti mostrano che il consumo di gas per cavallo-ora del motore di P. Barsanti e Matteucci era di metri cubi 0.497, ovvero il motore ad azione differita consumava meno di un quinto di quello ad azione diretta ed era quindi competitivo, come costi di esercizio, nei confronti della macchina a vapore, anche se quest'ultima rimaneva sempre più vantaggiosa dal punto di vista economico.

Il maggior consumo del motore Lenoir si può spiegare col fatto che esso rappresentava una soluzione imperfetta al problema dell'impiego della forza esplosiva di una miscela gassosa; il suo rapporto di espansione era piccolo e i gas uscivano dallo stantuffo quasi completamente inutilizzati ed ancora in grado di compiere lavoro. Nel motore di P. Barsanti e Matteucci gran parte dell'energia esplosiva si trasformava in lavoro utile e quindi si aveva un minore consumo; al contrario nella macchina del francese molto del lavoro fatto dalla forza veniva trasformato in calore con un conseguente modesto lavoro utile ed un elevato consumo. Il motore era molto semplice ma richiedeva una grossa spesa di combustibile: fu per questa ragione che, nonostante il clamore iniziale, venne messo in ombra all'apparire, nel 1867, del motore Otto e Langen, il quale altro non era che la riproduzione della macchina italiana ad azione differita.

P. Barsanti e Matteucci fecero costruire a Zurigo nel 1861 un motore a stantuffi concorrenti ad azione diretta, il quale è stato descritto precedentemente; non è noto il consumo di questa macchina, ma è presumibile che potesse consumare un poco di più di quella esaminata dal Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti; è anche probabile che gli inventori non volessero rinunciare al loro principio di sfruttare al massimo possibile l'espansione dei gas, dopo averne messo in evidenza l'utilità pratica ed essersi, nel corso degli anni, tanto impegnati per aumentarla. Comunque non abbiamo nessun documento che provi o lasci almeno intuire un elevato consumo di combustibile da parte della loro macchina: quindi, a parità di sistema usato, il motore italiano, presumibilmente, superava in rendimento quello francese.

Inoltre il motore Lenoir presentava degli inconvenienti dal lato meccanico a causa della irregolare successione delle esplosioni e la violenza degli urti a cui la macchina era sottoposta. Nelle sue esperienze l'ingegnere Tresca rilevò che il numero di giri del volano variava dai 153 ai 102 giri al minuto primo in tre ore circa di lavoro: questo conferma il fatto che la macchina variava velocità durante il lavoro. Il motore esaminato dal Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti mostrava invece un moto più regolare, oltre ad avere dei consumi minori.

Per quello che riguarda la manutenzione le macchine dei due italiani si mostravano certamente migliori di quelle di Lenoir; infatti in queste ultime si verificava un eccessivo riscaldamento, che accelerava il consumo dei cilindri e degli stantuffi e che esigeva un serie frequentissima di interruzioni di lavoro, mentre nelle altre la temperatura era mantenuta bassa per la continua iniezione di acqua fresca. Quindi gli organi delle macchine costruite secondo il sistema di Lenoir risultavano, in base a quanto appena detto, soggette ad un rapido deterioramento. Tutti questi fattori negativi ne scongiurarono l'uso a livello industriale.

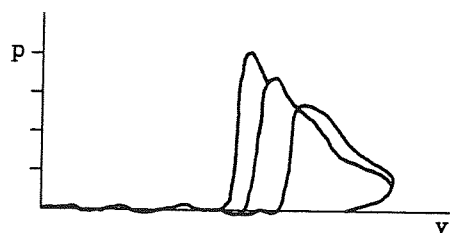


Fig. 18 - Diagramma pressione-volume rilevato su uno dei lati dello stantuffo di un motore Lenoir.

Da un confronto del diagramma pressione-volume del motore Otto e Langen (Fig. 17) con quello del motore Lenoir riportato in Fig. 18^[9] si vede come nel secondo l'espansione fosse limitata: questo conferma il minor rendimento del sistema ad azione diretta.

Visti i notevoli studi che all'epoca venivano dedicati al motore ad azione diretta ed incoraggiati dalla superiorità costruttiva di tale sistema, P. Barsanti e Matteucci intrapresero delle ricerche al fine di ottenere espansioni più prolungate in macchine che adottassero questo sistema, prova ne è il motore di P. Barsanti e Matteucci del 1861; ma i risultati non dovettero essere incoraggianti. Bisogna infatti tenere presente che il motore gravioatmosferico, anche se di piccola potenza come quello sperimentato da Meidinger (citato nel capitolo precedente), aveva corse dell'ordine del metro: a parità di diametro dei cilindri in un motore ad azione diretta, per poter ottenere un ciclo paragonabile a quello del motore ad azione differita, sarebbero occorse delle bielle e delle manovelle di notevoli proporzioni tali da rendere di difficile utilizzo la macchina. La possibilità di costruire motori che avessero stantuffi di grande diametro e piccola corsa, a parità di volume generato, avrebbe permesso, entro certi limiti, di superare le difficoltà costruttive sopra citate; tuttavia una simile configurazione avrebbe limitato le superfici di raffreddamento del cilindro ed inoltre si sarebbero avute forti pressioni totali sugli organi di trasmissione con conseguenti dimensioni esagerate per gli organi stessi.

L'espansione prolungata in un motore ad azione diretta avrebbe avuto delle ripercussioni negative anche sul rendimento meccanico che sarebbe risultato decisamente inferiore a quello del motore ad azione differita. Una conferma di quanto detto la possiamo trovare nei tentativi ^[9], non coronati da successo, fatti negli anni successivi su motori a precompressione da Diesel e Charon al fine di ottenere una espansione prolungata: oltre a trovare difficoltà nell'incremento delle dimensioni per unità di potenza, essi dovettero registrare una rapida diminuzione del rendimento meccanico, ovvero il maggior lavoro assorbito dagli attriti non era compensato a sufficienza dal maggior lavoro svolto.

Riguardo alle esperienze compiute da Charon possiamo dire che questi, intorno al 1889, realizzò un motore a quattro tempi nel quale, durante la fase iniziale della

compressione, una parte della miscela veniva rinviata, in misura variabile a seconda del carico, in un serbatoio di deposito.

Se i suddetti tentativi fossero stati effettuati su motori ad azione diretta senza precompressione i risultati non sarebbero cambiati; gli organi in moto avrebbero dovuto essere proporzionati in modo da poter sopportare le pressioni massime con la conseguenza, precedentemente riportata, che le perdite di lavoro causate dagli attriti sarebbero state notevoli.

Per evitare ripercussioni negative sul rendimento meccanico la trasmissione sarebbe dovuta avvenire in maniera più regolare. Il motore gravioatmosferico ad azione differita, pur utilizzando organi per la trasmissione del lavoro diversi da quelli adottati per il sistema ad azione diretta, realizzava questa condizione; infatti il movimento era trasmesso dallo stantuffo all'albero motore in maniera continua e regolare per quasi tutta la corsa di ritorno. Inoltre nel motore di P. Barsanti e Matteucci il movimento, trasmesso nella corsa di ritorno, avveniva, come si può notare dal diagramma pressione-volume riportato in Fig. 17, sotto pressioni minime, mentre all'inizio della corsa di andata, subito dopo la detonazione, la pressione era massima ed agiva sul solo stantuffo che, in base al sistema di trasmissione adottato, era pressoché libero di spostarsi in quanto vi era soltanto la resistenza causata dal suo peso e dalle guarnizioni per lo scorrimento nel cilindro. Una stima degli sforzi trasmessi, sommando insieme il peso per cm^2 dello stantuffo e dei vari organi agenti sopra la massa del gas e la differenza fra la pressione atmosferica e quella interna al cilindro, porta ad un valore minore di 1 Kg/cm^2 , ripartibile rispettivamente in $0,1 \text{ Kg/cm}^2$, basandoci sui dati del motore sperimentato da Meidinger, e in $0,6 \text{ Kg/cm}^2$.

I benefici derivanti da una espansione prolungata furono riconosciuti anche dal Prof. Bernardi il quale effettuò approfonditi studi sulle macchine atmosferiche; a questo proposito è opportuno ricordare che egli costruì un piccolo motore ad azione diretta destinato all'industria domestica, il cui rapporto di espansione era di 1 a 4. Questo rapporto di espansione era maggiore di quello normalmente incontrato nei motori ad azione diretta ma inferiore a quello dei motori gravioatmosferici in quanto, pur riconoscendo l'opportunità di una espansione più prolungata, si voleva evitare una eccessiva dissipazione di lavoro in attriti.

Esaminiamo ulteriormente da un punto di vista termodinamico le differenze fra il motore ad azione differita e quello ad azione diretta. Nel motore ad azione differita troviamo, come elemento favorevole, la rapida ascesa dello stantuffo, la quale consentiva un'espansione di tipo quasi adiabatico; si deve poi considerare che la

corsa di ritorno, effettuandosi in presenza di una resistenza esterna, era più lenta a tutto vantaggio del mantenimento della depressione all'interno del cilindro. Dalla Tabella 4, riferentesi a risultati di esperienze compiute da Meidenger su un motore Otto e Langen, si vede, ad esempio, che nella terza prova la velocità media di discesa dello stantuffo era di 1,11 m/s, contro una velocità di ascesa superiore a 5 m/s ^[9].

Se è vero che la lenta discesa è un elemento a favore del sistema ad azione differita, non altrettanto possiamo dire riguardo alla rapida ascesa in quanto esistono elementi che possono portare delle ripercussioni negative sul rendimento del ciclo. Infatti in una rapida espansione i gas si trovano in condizioni in cui le velocità di reazione sono minori e, inoltre, le eventuali combustioni tardive hanno a disposizione un tempo inferiore, rispetto a quello nei motori ad azione diretta, per dare il loro contributo: diminuiscono, quindi, le somministrazioni di calore tardive e maggiori quantità di gas incombusto vengono espulse nella fase di scarico. Tuttavia il fatto che le combustioni tardive diminuiscano può avere degli aspetti positivi se si tiene conto delle caratteristiche funzionali del motore atmosferico nella corsa di ritorno; infatti le quantità di calore, che vengono somministrate quando lo stantuffo si muove nella corsa di andata, si trasformano in quantità di lavoro sempre minori, in quanto il rapporto di espansione ancora usufruibile va gradatamente diminuendo, e contribuiscono ad un maggior riscaldamento dei gas di scarico. Dovremmo, quindi, vedere se l'evitare che forti somministrazioni tardive di calore riscaldino eccessivamente i prodotti della combustione sia di beneficio al funzionamento atmosferico più di quanto non lo siano i modesti contributi di lavoro dovuti alle somministrazioni stesse: in altre parole è da chiedersi se sia meglio mantenere freddi i gas combusti a fine espansione pur avendo lo svantaggio di avere una combustione meno completa oppure avere un maggior contributo di lavoro dovuto a quantità di calore sviluppate tardivamente.

Ulteriori considerazioni si possono fare sulla velocità dello stantuffo al momento dell'espansione: nei motori Barsanti e Matteucci questo era completamente a riposo (lo stantuffo ausiliario, presente nell'esemplare del 1863, collegato all'albero motore per mezzo di un manovellismo, e prossimo, dopo la fase di aspirazione, al termine della sua corsa discendente, aumentava la camera di combustione in misura molto contenuta e con una certa lentezza) mentre in quelli Hugon e Lenoir la sua velocità era approssimativamente massima. Poiché nei motori ad azione diretta la camera di combustione tendeva ad aumentare il suo volume abbastanza rapidamente, la pressione e la temperatura dei gas venivano a diminuire rapidamente proprio in una

fase in cui, ai fini delle trasformazioni in lavoro, le somministrazioni di calore sono più efficaci: si aveva, quindi, che la subitanea decompressione rendeva più incompleta la combustione. Nel motore ad azione differita la pressione del gas doveva solamente vincere l'inerzia dello stantuffo e questo comportava la possibilità che con uno stantuffo di massa opportuna si potesse raggiungere, nel periodo iniziale, condizioni di combustione più favorevoli di quelle che si potevano realizzare nei motori ad azione diretta.

Un'altra conferma della superiorità del motore dei due italiani si ha proprio nella macchina dei tedeschi Otto e Langen, apparsa trionfalmente a Parigi nel 1867, che ne sfruttava palesemente il principio e che ebbe grande diffusione. Poiché precedentemente abbiamo fatto un confronto fra i consumi del motore Lenoir e quello dei due italiani, è opportuno riportare anche quello della macchina tedesca, presentata all'Esposizione Universale di Parigi del 1867: esso era di 1,379 metri cubi per cavallo-ora, ovvero assai superiore a quello ottenuto da P. Barsanti e Matteucci.

Quindi merito importante di P. Barsanti e Matteucci è stato quello di aver creato una macchina che non solo nuova ma anche idonea ad uno sfruttamento reale.

6.2 Confronto fra il ciclo Barsanti e Matteucci ed il ciclo a compressione preliminare

Pur analizzando le cose da un punto di vista teorico, ovvero supponendo le combustioni complete e le espansioni perfettamente adiabatiche, il confronto fra i rendimenti termici del motore gravioatmosferico e di quello a compressione preliminare può farsi solo in via approssimativa ^[19].

Teoricamente il ciclo ideale del motore a compressione preliminare (motore a quattro tempi) equivale ad un ciclo composto dalle seguenti fasi:

- 1°) compressione adiabatica;
- 2°) somministrazione di calore a volume costante;
- 3°) espansione adiabatica;
- 4°) raffreddamento a volume costante dalla temperatura di fine espansione a quella iniziale.

Può mostrarsi che il rendimento termico teorico di tale ciclo è funzione del rapporto volumetrico del medesimo.

Da un confronto dei diagrammi pressione-volume del motore atmosferico (Fig. 17) e di uno dei primi motori Otto a quattro tempi (Fig. 19) ^[9] (i primi motori a quattro tempi apparvero nel 1878), possiamo vedere come i due cicli erano alquanto differenti. A parità di rapporto di espansione, il motore gravioatmosferico non può, teoricamente, raggiungere il rendimento del ciclo a quattro tempi; comunque, considerando l'enorme differenza fra i rapporti di espansione fra i motori atmosferici e quelli a quattro tempi, si aveva che il rendimento termico teorico della macchina gravioatmosferica era superiore a quello di molte macchine a quattro tempi.

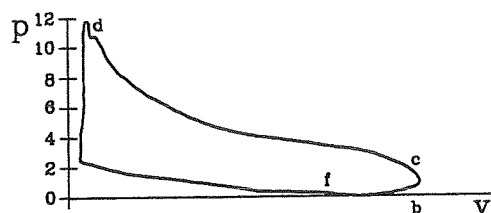


Fig. 19 - Diagramma pressione-volume di uno dei primi motori Otto a quattro tempi.

Solo nel 1885 si ebbero motori a quattro tempi che riuscirono ad eguagliare nei consumi i motori atmosferici; da notare che questo avvenne inizialmente solo con delle macchine di elevata potenza, soggette, quindi, a minore passività e minori dispersioni di calore.

Sotto il profilo termico, il motore a quattro tempi, grazie alla fase preliminare di compressione, si dimostrò superiore a quello gravioatmosferico in quanto in esso la combustione era più completa, avvenendo in condizioni di pressione e temperatura più favorevoli.

Riguardo il rendimento effettivo possiamo aggiungere che nel motore a quattro tempi gli effetti delle resistenze passive erano maggiori; infatti i vari organi soggetti ad attrito, predisposti per sopportare le pressioni massime, portano ad avere perdite di energia superiori a quelle che si sarebbero avute se la trasmissione di uguali quantità di lavoro fosse stata compiuta con maggiore uniformità di forze trasmesse; inoltre la corsa di scarico e quella di aspirazione sono delle fasi che richiedono delle notevoli prestazioni passive e non portano alcun contributo di lavoro. Comunque,

facendo le debite proporzioni, le elevate pressioni medie raggiunte consentirono al motore a quattro tempi di avere un elevato rendimento globale.

Capitolo 7

Il Manoscritto Ximeniano

Dopo aver sufficientemente analizzato le caratteristiche del motore di P. Barsanti e Matteucci, appare ora possibile la lettura del Manoscritto Ximeniano.

Il Manoscritto Ximeniano rappresenta un abbozzo di documento in quanto, come emerge dal suo contesto, avrebbe dovuto esser seguito da un ulteriore lavoro di rifinitura. L'analisi del manoscritto è fondamentale per la ricostruzione dell'opera complessiva dei due inventori e per un giudizio sul significato e sul merito di questa che sia il più preciso possibile.

Il documento mostra delle lacune di tipo formale ma non di tipo concettuale; presenta, inoltre, delle ripetizioni che hanno comunque il pregio di confermare osservazioni già formulate.

Il Manoscritto non reca alcuna data e non è firmato dal suo autore: un esame calligrafico del testo evidenzia che esso non fu scritto da P. Barsanti, anche se è verosimile credere che sia stato dettato da lui stesso in quanto, come risulta da alcuni documenti conservati nell'archivio dell'Osservatorio Ximeniano, era in quel periodo seriamente sofferente nelle facoltà visive tanto da essere costretto a servirsi di aiutanti nei suoi lavori di officina. Comunque, nella improbabile ipotesi che il documento non sia stato opera diretta del Padre Scolopio, è da supporre che l'autore, oltre ad essere perfettamente in possesso dei concetti e del linguaggio scientifico del tempo, doveva conoscere pienamente l'opera e il pensiero degli inventori.

Anche se il manoscritto non reca alcuna data si può, comunque, dedurre in quale periodo esso fu scritto dal suo contenuto e da altre considerazioni generali in esso contenute. Infatti nel testo stesso, alludendo alle condizioni generali di sviluppo delle scienze sperimentali all'epoca della compilazione, si parla del periodo in cui furono iniziate le esperienze come di un'epoca distante "*poco più di un decennio*". Inoltre, accettando l'ipotesi più probabile che il documento sia proprio opera di P. Barsanti, considerando la sua prematura scomparsa nell'aprile del 1864, si può supporre che il

documento sia stato scritto non più tardi della fine del 1863 o primi mesi del 1864. Essendo infine P. Barsanti impegnato, proprio nei primi mesi del 1864, nella preparazione della produzione su larga scala del suo motore e nelle varie trattative con case costruttrici italiane ed estere, come risulta da varie lettere conservate nell'Archivio Ximeniano, viene da supporre che la data di compilazione sia da riferirsi al 1863.

Nell'Archivio dell'Osservatorio Ximeniano, inoltre, è conservato uno scritto in lingua francese, che probabilmente P. Barsanti dettò alla vigilia della sua partenza per il Belgio e che reca nella sua frase introduttiva la traduzione fedele dei passi iniziali del manoscritto.

Viene adesso da chiedersi il motivo per cui fu scritto questo documento: il suo carattere scientifico ci fa supporre che esso fosse destinato ad una sede accademica e non avesse carattere di propaganda. Si possono quindi fare delle ipotesi in base agli avvenimenti che caratterizzarono il 1863. Si può pensare che si trattasse di una nota preparata in occasione della presentazione, nella primavera di quell'anno, al Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti del motore ultimo costruito: tale nota doveva avere solo carattere informativo per i commissari ed inoltre, se si vuole concedere credito a questa ipotesi, non doveva essere un documento ufficiale in quanto di essa non risulta alcuna traccia negli archivi dell'Istituto. Altra occasione per la quale avrebbe potuto essere stato scritto è l'apertura, avvenuta il 20 settembre, del plico custodito all'Accademia dei Georgofili a Firenze: il manoscritto sarebbe dovuto servire da completamento, e da aggiornamento di quelle prime affermazioni fatte dieci anni addietro; inoltre avrebbe giustificato i motivi che condussero all'abbandono delle prime tre soluzioni inizialmente proposte.

E' lecito supporre che il documento sia stato scritto anche solo per il bisogno dell'autore di poter riassumere e conservare per coloro che si fossero cimentati in seguito nello studio del motore quanto gli inventori avevano ottenuto nei loro studi.

Riportiamo adesso il documento ^[9] omettendo solamente quelle parti che altro non sono che una ripetizione di altre precedenti: queste vengono parafrasate per consentire al lettore di avere un senso di continuità nell'argomentazioni. Il documento viene arbitrariamente suddiviso in paragrafi per rendere meglio evidenti gli argomenti trattati di volta in volta; inoltre sono state messe in nota alcuni commenti analitici per meglio chiarire i concetti espressi.

Premessa

"Il prof. Eugenio Barsanti delle Scuole Pie, ripetendo ai suoi scolari di fisica del Collegio di Volterra l'esperienza della famosa pistola del Volta, concepiva nel 1843 l'idea di applicare come forza motrice l'espansione di un miscuglio composto di gas idrogeno e di aria atmosferica incendiato dalla scintilla elettrica.

L'apparecchio che serviva a questa esperienza era un ellissoide a grosse pareti di rame, munito da una parte del solito conduttore isolato e dall'altra di un lungo collo destinato a lasciare introdurre il miscuglio detonante, e ad essere poi chiuso con un turacciolo di sughero. Il Padre Barsanti aveva ripetutamente osservato che l'apparecchio subiva al momento dell'esplosione un riscaldamento tanto maggiore quanto più fortemente era calcato il turacciolo e che questo riscaldamento giungeva al maximum allorché il turacciolo stesso veniva così fortemente calcato che l'esplosione della mescolanza detonante non valeva a cacciarlo via.

Da queste osservazioni deduceva che la forza esplosiva dei miscugli composti di idrogeno e di aria non era così violenta come l'avrebbe fatto supporre il rumore che si ode quando il turacciolo viene slanciato, e che si poteva regolarne gli effetti dinamici obbligandola a trasformarsi in parte od anche totalmente in calorico.

Chiamato a Firenze ad insegnarvi la filosofia e le matematiche pure, il Barsanti fu distratto da quell'idea finché nominato professore di meccanica ed idraulica nell'Istituto Ximeniano ed iteratamente eccitato dal suo amico e collega cav. prof. Giovanni Antonelli, al quale l'aveva comunicato si decise sul cominciare del 1852 ad intraprendere una serie di esperimenti per attuarla. E siccome nella sua posizione non trovava quella opportunità e comodità che a questo effetto eragli necessaria, colla creduta di facilitare ed affrettare un qualche resultamento, associavasi fino dal bel principio il sig. Felice Matteucci col quale aveva già divisi studi relativi al regime delle acque ed alle strade ferrate."

Prime ricerche ed osservazioni di massima

"Prima cura del Barsanti e del Matteucci fu quella di esplorare diligentemente la natura, l'indole e l'intensità della forza che trattavasi di applicare alla produzione di un moto regolare e continuo e che fino allora era coperta da un oscurissimo velo che niuno ardiva sollevare. A questo effetto fecero costruire un cilindro di ghisa, lungo un metro ed internamente spartito in maniera che per novanta centimetri di lunghezza aveva un diametro di 10 cm. e di 5 soltanto nella parte rimanente.

Quest'ultima sezione munita di una valvola di aspirazione e di un filo isolato, conduttore dell'elettricità, costituiva la camera detonante, mentre la sezione

maggiore, nella quale introducevasi uno stantuffo ed era aperta all'estremità formava la camera di espansione.

Disposto il cilindro orizzontale, portato lo stantuffo al punto di riunione delle due sezioni, introdotta ed incendiata nella camera detonante la mescolanza di aria e di gas che d'ora in poi chiameremo la "carica" osservarono che lo stantuffo percorreva rapidamente una piccola parte della gran camera e ritornava immediatamente, e quasi con la stessa velocità, vicino al punto da cui era partito; e presso questo punto acquistava un momento oscillatorio che andava ben presto a cessare.

Il primo di questi movimenti era evidentemente prodotto dalla forza espansiva del miscuglio detonante e bastava a provare che questa forza era assai limitata, dacché non riusciva, nonché ad espellere il detto stantuffo dal cilindro, nemmeno a fargliene percorrere un gran parte. Il secondo movimento dovevasi manifestamente attribuire al vuoto lasciato dietro di sé dallo stantuffo ed alla conseguente pressione dell'aria atmosferica sopra la faccia esterna del medesimo, e non avendo velocità minore del primo mostrava di non esser dovuto ad una forza minore."

Costruzione di un secondo apparecchio di ricerca

Restava a rendersi conto delle oscillazioni osservate nello stantuffo nel momento che stava per raggiungere il punto di partenza; queste furono attribuite alla gran velocità colla quale lo stantuffo stesso andava a comprimere i residui gassosi della combustione producendo un effetto analogo a quello che si verifica facendo cadere dall'alto un grave sopra un corpo elastico. Del resto questo primo apparecchio non poteva prestarsi ad esperienze così precise come si volevano, tanto più che la carica non poteva farsi in giuste proporzioni, e che era difficile sbarazzare interamente il cilindro dai residui e dai prodotti della combustione. Fu costruito perciò un cilindro di dimensioni più grandi cioè un diametro interno di 0^m,16 e della lunghezza di 1^m,20. Questo cilindro aperto ad una delle sue estremità, per la quale introducevasi uno stantuffo era chiuso dalla parte opposta mediante un coperchio forato nel suo centro per lasciar passare l'asta di uno stantuffo secondario che distingueremo col nome di controstantuffo destinato ad espellere i prodotti della combustione ed a rinnovare le cariche; al quale effetto era munito egualmente che il coperchio di una valvola che si apriva dal di dentro al di fuori del cilindro. La camera detonante era variabile a volontà e veniva costituita da una porzione del cilindro limitata per una parte dal controstantuffo portato a contatto col coperchio, e per l'altra dalla faccia interna dello stantuffo principale, spinto ad una distanza più o meno grande verso il controstantuffo a seconda dell'altezza che volevasi dare alla carica. Alla camera

detonante facevano capo due condotti che servivano rispettivamente all'introduzione dell'aria e del gas. Infine all'incendio delle cariche erasi provveduto colla scintilla proveniente dallo sfregamento dei reofori dell'apparecchio di De La Rive, sfregamento che effettuavasi nella camera detonante per mezzo di un congegno opportunamente applicato all'esterno del cilindro."

Obiettivo della sperimentazione

"Questo nuovo apparato riprodusse in più grandi proporzioni e con maggiore regolarità e costanza i fenomeni osservati nel primo, ed attesa la facilità di variare in qualsivoglia misura tanto la grandezza della carica come la proporzione del gas e dell'aria, si prestò mirabilmente a far conoscere la durata e l'intensità della forza prodotta dalla detonazione dei miscugli gassosi, nel modo che ora brevemente esporremo, riserbandosi a pubblicare in seguito con maggiore particolarità gli importanti risultati ottenuti da numerosissimi esperimenti".

Esperienze con aria ed idrogeno

"Essendosi proposti il Barsanti ed il Matteucci di conoscere per prima cosa la relazione esistente fra l'altezza della carica, contata lungo l'asse del cilindro, e la lunghezza della corsa dello stantuffo, cominciarono dall'esperimentare l'effetto di cariche piccolissime che furono poi gradatamente portate al "maximum", determinato dalla lunghezza del cilindro.

In principio il gas adoperato era idrogeno puro, mescolato con aria atmosferica nella proporzione di 1 a 5²⁶, proporzione che, come ognuno sa, è necessaria affinché la combustione dell'idrogeno risulti completa. Così si venne a scoprire che le piccole cariche davano un risultato²⁷"

Seguono oltre due colonne vuote.

²⁶ Come si è precedentemente detto nel quinto capitolo, considerando che l'aria possiede un 20,95% in volume di ossigeno, si ha un volume di ossigeno ogni 4,773 volumi d'aria, il volume d'aria teoricamente necessario, a causa della diatomicità delle molecole di ossigeno è meno della metà di quello indicato dalla proporzione nel testo; il calcolo teorico fatto dagli inventori non ebbe, comunque, alcuna conseguenza in quanto la natura e le proporzioni della miscela furono calcolate sperimentalmente: fu trovato che il volume d'aria doveva essere 7 volte quello del gas.

²⁷ La lacuna presentata dalle due colonne vuote può lasciare spazio a delle supposizioni: si può pensare che l'autore intendesse alludere al fatto che le piccole cariche davano risultati comparativamente meno pronunciati delle grandi in quanto le perdite di calore ed i vari attriti causano nei motori perdite di energia che hanno maggiore rilievo qualora la quantità della miscela venga diminuita.

Esperienze con idrogeno ed ossigeno

"Esaurito questo primo ordine di esperimenti, all'aria atmosferica fu sostituito il gas ossigeno per conoscere cosa sarebbe avvenuto sbarazzando la carica dalla presenza di un gas estraneo alla combustione, qual è il gas azoto contenuto nella proporzione un poco maggiore di 1 a 4.

Ne risultò che tanto la corsa di andata dello stantuffo come quella di ritorno erano visibilmente più violente e più rapide; ma al tempo medesimo rimanevan più corte, per guisa che un medesimo volume di gas idrogene produceva, bruciando con l'aria, una corsa notabilmente più lunga di quella prodotta bruciando col gas ossigeno. Ne fu concluso che la presenza di un gas estraneo alla combustione compensava l'inconveniente di restare ad ingombrare il cilindro e quindi ad impedire la formazione di un vuoto perfetto dietro lo stantuffo rendendo la corsa di questo più ampia e meno violenta."

Esperienze con idrogeno ed aria in eccesso

"Anzi dopo questa osservazione furono intrapresi altri esperimenti diretti a far noto fino a qual segno potesse giovare sotto l'indicato punto di vista, un aumento nella dose dell'aria al di là di quella che è necessaria per la completa combustione dell'idrogene, e fu trovato che per la massima corsa dello stantuffo la miglior proporzione era quella di 1 a 7."

Esperienze con gas illuminante

"Sostituito all'idrogeno puro l'idrogeno bicarbonato, ossia l'idrogeno che serve all'illuminazione della città di Firenze e ripetuta quasi la medesima serie di esperimenti, si trovò che questo gas aveva maggiore efficacia, cioè che sotto uno stesso volume dava corse più lunghe dell'idrogeno puro, e che richiedeva una dose d'aria notabilmente maggiore. Il massimo effetto veniva prodotto da una carica composta di un volume di gas con dodici volumi di aria²⁸."

²⁸ La questione di quale tipo di gas sia l'idrogeno bicarbonato è stata affrontata nel quinto capitolo. Tuttavia l'identificazione del gas, sebbene importante, non è certamente essenziale al fine di comprendere le conseguenze termodinamiche delle esperienze che sono oggetto del manoscritto.

Nel proseguo del manoscritto viene ancora citato l'idrogeno bicarbonato quando si parla delle esperienze fatte in presenza di una resistenza continua collegata allo stantuffo; si mette in evidenza come l'impiego di questo gas, bruciato in grande eccesso d'aria, riuscisse a contrastare efficacemente l'effetto, dovuto a tali resistenze, che contrastavano l'espansione. La resistenza applicata, frenando lo

Determinazione sperimentale delle corse dello stantuffo libero e delle loro durate

"Importava conoscere esattamente non meno la velocità che la lunghezza delle corse dello stantuffo. A questo scopo fu applicato il tamburo di Morin, di una lunghezza un poco maggiore di quella della massima corsa, parallelamente all'asse del cilindro, e precisamente in maniera che un pennello fissato all'asta dello stantuffo ne strisciasse le pareti nelle corse di andata e ritorno.

Esaminate le curve tracciate dal pennello sopra un foglio di carta che ad ogni esperimento si avvolgeva sotto il tamburo, si trovarono somigliantissime alla parabola, cioè alla curva che descrivono i proiettili slanciati obliquamente da una forza istantanea. Ciò stava appunto a provare che lo stantuffo nella corsa di ritorno era animato da una forza acceleratrice, quasi equivalente alla forza istantanea producente la corsa di andata. Le ordinate del principio e del termine della curva, che misuravano la durata della corsa di andata e ritorno erano pressoché uguali e così indicavano come anche la durata delle due corse era sensibilmente la stessa. Le corse più ampie erano sempre proporzionalmente più celeri delle più piccole, e le massime, che giungevano a 0m,70 non duravano che una piccola frazione di un minuto secondo.

Prove con resistenze varie , variamente applicate allo stantuffo

"In tutti questi esperimenti lo stantuffo che riceveva l'impulso dall'esplosione non presentava altra resistenza fuorché quella della sua inerzia. Era importantissimo il conoscere quali effetti sarebbero risultati opponendogli qualche resistenza da vincere. La resistenza in discorso poteva essere istantanea o continua: e fu trovato che mentre le resistenze del 1° genere venivano superate con straordinaria facilità senza scemare notabilmente la lunghezza della corsa, le resistenze continue la diminuivano e la riducevano quasi a nulla benché molto limitate."

Segue mezza colonna bianca.

stantuffo, aumentava la durata di un ciclo e questo permetteva, grazie anche a condizioni particolarmente favorevoli quali la larga disponibilità di ossigeno o l'elevata temperatura e la grande pressione, il verificarsi di combustioni tardive accompagnate da somministrazioni di calore che a loro volta contribuivano a mantenere, nei gas della combustione, la capacità di superare le resistenze medesime.

Allusione allo sviluppo delle scienze all'inizio delle ricerche, allusione alla data di compilazione del manoscritto

"Se la Chimica e la Fisica di quel tempo, che, per quanto non lontano da noi che poco più di due lustri, può dirsi antico in grazia dei grandi progressi che quelle scienze ogni giorno vanno facendo, avessero dato qualche barlume per rischiarare le tenebre misteriose in cui era avvolto il fenomeno della combustione delle materie detonanti, il Barsanti ed il Matteucci avrebbero potuto risparmiarsi una gran parte delle loro fatiche. Ma il fenomeno di cui parliamo non era conosciuto a quell'epoca se non per il terrore che ispirava²⁹."

Giudizio sfavorevole al motore ad azione diretta

"Soltanto nel 1858³⁰, cioè quando il Barsanti e Matteucci non solo avevano terminata la lunga serie dei loro studi ed esperimenti ma di più avevano ultimata una delle loro macchine, seppero che altri avevano tentato di utilizzare la forza esplosiva dei miscugli gassosi. Ma le ricerche motivate da questa notizia non riuscirono a far conoscere nulla di più che il cattivo successo di quei tentativi. Ne ciò valse a scoraggiarli; imperciocché le indicazioni vaghe ed oscure che potettero procacciarsi su questo proposito concorrevano tutte a provare che si voleva ottenere direttamente ed immediatamente un moto regolare continuo da una forza naturalmente violenta ed istantanea, il che da loro stessi veniva dichiarato impossibile³¹."

²⁹ Viene fatto cenno allo stato di evoluzione delle scienze sperimentali al tempo dell'inizio degli studi dei due inventori ed in particolare ci si riferisce all'interpretazione che si dà al fenomeno della combustione rapida, ovvero esplosiva, ed alle leggi che la governano. Nel manoscritto stesso sono ricordati quali erano i punti da chiarire al momento dell'inizio delle esperienze ed è quindi superfluo ripeterli.

³⁰ Nel 1856 abbiamo il primo motore che ebbe un effettivo utilizzo pratico presso le officine della Ferrovia Maria Antonia di Firenze e nel 1858 ne furono costruiti altri due con caratteristiche diverse come risulta da vari documenti.

³¹ Importante è l'affermazione di questo passo che essi ritennero impossibile "ottenere direttamente ed immediatamente un moto regolare continuo da una forza naturalmente violenta ed istantanea": con essa si conferma il giudizio negativo sul motore ad azione diretta. Non essendo fatto alcun riferimento esplicito a macchine effettivamente costruite, non sappiamo se quelle parole erano riferite alle esperienze compiute con un apparecchio sperimentale con caratteristiche analoghe a quello per il funzionamento ad azione differita, od al motore realizzato nel 1861 i cui organi, quali, ad esempio, il volano, erano specificatamente adatti per il sistema ad azione diretta; comunque le osservazioni

Carattere delle finalità imposte da P. Barsanti e Matteucci alle loro ricerche.

"Le cognizioni teorico-pratiche adunque delle quali abbisognavano relativamente alla natura della forza esplosiva, alla durata sempre brevissima ma pur variabile di questa forza, alla tensione acquistata dal miscuglio gassoso al momento della accensione, alla rapidità con cui alla forza espansiva succede una forza contraria dovuta alla condensazione delle materie incendiate alla immensa varietà degli effetti provenienti dalla forma delle camere detonanti e dalla temperatura delle loro pareti, dalle resistenze più o meno forti momentanee o continue, opposte alla forza dell'esplosione ed infine dalle diverse specie di gas e dalle quantità d'aria mescolata con ciascuna di queste, il Barsanti e il Matteucci ebbero a procacciarsele tutte a forza di studi e di esperimenti, nei quali ebbero il vantaggio di essere coadiuvati dal chiar.mo professore di Fisica P. Filippo Cecchi delle Scuole Pie ³²."

Ritorna a questo punto, meglio precisata, la riserva, già fatta precedentemente, di rendere noti "in altra occasione" i vari risultati degli esperimenti ed i metodi praticati, data "l'indole e lo scopo di questa Memoria", la quale, dunque, deve essere stata scritta con un intento, o per un'occasione, determinata. Viene poi ripetuto che i risultati riferiti sono soltanto quelli che servirono di base e di guida agli Inventori.

La Memoria quindi prosegue:

Osservazioni sulle pressioni di esplosione

"La fragorosa detonazione che immediatamente succede alla combustione dei miscugli di gas infiammabile ed aria quando i recipienti in cui si effettua o si rompono o si aprono farebbe e fa generalmente supporre che la forza esplosiva delle mescolanze gassose sia molto maggiore che in fatto non è. Al contrario se la camera detonante è di pareti abbastanza solide da non venire spezzata o se sono capaci di

fatte non sono in contrasto con quanto affermato parlando della macchina del 1861, ovvero che il punto debole poteva vedersi nello scarso rendimento meccanico. La ricerca della via migliore per la trasmissione del moto mostra come gli studi dei due inventori siano stati aperti a più soluzioni e contribuisce a fare del manoscritto un documento conclusivo di una esperienza senza lacune.

³² Più avanti nel testo si afferma che la forza, contrastante l'espansione, non era dovuta solo alla condensazione dei prodotti della combustione, ma era favorita anche dal vuoto creato dall'inerzia che lo stantuffo acquistava al momento dell'esplosione: a queste conclusioni si era arrivati al termine di una lunga serie di esperienze.

I due inventori si accorsero anche come la forma della camera, in cui avveniva detonazione, e la temperatura delle pareti del cilindro avessero una certa influenza.

estendersi senza che si aprano, ogni rumore venendo a mancare, si sarebbe indotti a credere che la forza pure si riduca a pressoché nulla. Il vero si è che la forza espansiva delle miscele gassose detonanti, comunque e dovunque succeda ³³, non raggiunge la tensione di 7 atmosfere, vale a dire che la forza in discorso, al momento che si produce, equivale a quella del vapore elevato alla temperatura di gr. ... ³⁴, temperatura che il vapore stesso ha nelle macchine ad alta pressione. Avvi per altro una differenza grandissima, e che deve essere qui constatare, fra la tensione di un miscuglio gassoso incendiato e quella del vapore riscaldato, poiché la prima non dura che un istante impercettibile di tempo e scende con rapidità prodigiosa al di sotto di una atmosfera mentre la tensione del vapore si mantiene finché la temperatura di esso non viene abbassata per la sottrazione del calorico, operata dalle pareti del recipiente, e tale abbassamento richiede sempre un tempo più o meno lungo, che per essere abbreviato esige l'applicazione di un qualche artificio, come suole praticarsi nelle macchine munite di condensatore. Affinché poi l'elasticità del miscuglio detonante raggiunga quella del vapore condensato a 7 atmosfere fa di mestieri adoprare gas idrogeno bicarbonato puro e mescolato con quella quantità d'aria che è necessaria per la completa combustione dell'idrogeno e del carbonio in esso contenuto. Alterando le proporzioni dell'aria e del gas, adoperando idrogeno puro, ossido di carbonio³⁵, idrogeno protocarbonato³⁶ oppure un miscuglio di tutti questi gas, e i gas stessi essendo più o meno puri, la forza esplosiva va gradatamente abbassandosi sotto quel limite eccettuato il caso dell'idrogeno puro mescolato all'aria atmosferica nel rapporto di 1 a 5, va anche perdendo della sua istantaneità in grado per altro appena sensibile. Così veniva a chiarirsi che almeno per le materie gassose la forza esplosiva era così limitata e così suscettibile di moderazione da dileguare il timore di qualsivoglia pericolo nell'uso di essa ed anzi, avuto

³³ I due studiosi lasciano trasparire come le loro esperienze nella ricerca del massimo valore della pressione di esplosione fossero state molto accurate spaziando tutte su le varie possibilità.

³⁴ Valore non indicato, per il quale è lecito desumere dalle tabelle del vapor d'acqua il valore di 164°.

³⁵ L'idea di utilizzare ossido di carbonio, che veniva ricavato dalla carbonizzazione del legno, si trova anche in altri inventori: L. De Cristoforis, del quale parleremo nel nono capitolo, aveva già alluso al suo eventuale impiego nella sua Relazione del 1841.

³⁶ A quel tempo sotto il nome di "idrogeno protocarbonato" erano spesso indicati gli idrocarburi con un atomo di carbonio; dovrebbe quindi trattarsi, come si è accennato precedentemente parlando dell'idrogeno bicarbonato, del metano.

riguardo all'eccessiva prontezza con la quale si distrugge³⁷ appena formata, faceva sorgere il dubbio di poterla applicare alla produzione di effetti molto potenti.

Viene adesso ripetuta la descrizione dell'apparecchio di prova ed è nuovamente esposto il modo con il quale venivano eseguite le esperienze. Da rimarcare è l'allusione che viene fatta al modo con cui si produceva l'accensione: infatti essa conferma il carattere di larga ecletticità dato alle esperienze e, inoltre, stabilisce che gli inventori presero in esame anche l'eventualità della accensione a mezzo di fiammella a gas.

Il relativo passo stabilisce infatti: *"l'accensione si produceva prima nello stesso modo della pistola del Volta, in seguito facendo sfregare nell'interno della camera i reofori del Condensatore di De La Rive, talvolta si faceva uso di una fiammella di gas ed in ultimo si adottava l'apparecchio Ruhmkorff senza che questi producessero una sensibile varietà di effetti, eccettuati alcuni casi dei quali si darà conto a tempo più opportuno"*.

Si afferma, poi, ancora una volta, che verranno fatte ulteriori comunicazioni.

Ampiezza delle escursioni dello stantuffo e loro durata

"Tenendo libero lo stantuffo da qualsivoglia resistenza, fuorché quella della sua inerzia, la scarica lo lanciava verso la estremità aperta del cilindro ad una distanza circa otto volte maggiore dell'altezza della carica, contando quest'altezza lungo l'asse del cilindro, dimodoché una carica alta p. es. 6 cm. produceva nello stantuffo una corsa di circa 50 cm.³⁸ La durata di questa corsa era di qualche centesimo di minuto secondo, ad essa succedeva immediatamente una corsa di ritorno quasi ugualmente veloce, ed il passaggio dall'uno all'altro di questi moti contrari era così istantaneo che l'occhio il più attento non avrebbe potuto distinguere, senza l'aiuto

³⁷ La pressione dopo l'esplosione saliva fino ad un certo valore per poi ridiscendere rapidamente, con la conseguenza che questa era mediamente molto bassa durante l'espansione. La macchina a vapore lavorava su pressioni di circa 7 atmosfere superando nelle potenze specifiche, cioè per unità di volume generato nell'unità di tempo dallo stantuffo, il motore dei due inventori.

³⁸ Il rapporto di espansione risulterebbe, quindi, essere di 1:9 in quanto si afferma che la corsa dello stantuffo era otto volte la carica introdotta. Il motore sottoposto all'esame del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti presentava un rapporto minimo di espansione 1:8 anche se questo doveva essere maggiore in quanto non tutta la corsa dello stantuffo ausiliario era destinata all'aspirazione. Nel motore Otto e Langen, usato da Meidinger nelle sue esperienze, il rapporto massimo costruttivamente previsto era, come si è visto, di 103:877 mm.; vi è dunque una buona corrispondenza con i risultati ottenuti dai due inventori italiani.

del tamburo di Morin, qual porzione dell'asta fosse venuta fuori dal cilindro. Opponendo allo stantuffo una resistenza momentanea, legandolo per esempio con una fune che una volta strappata lo lasciasse libero, le corse di andata e ritorno non ne restavano notabilmente alterate dal lato della lunghezza e molto meno da quello della velocità. Volendo infine obbligarlo a vincere una resistenza continua, cioè a sollevare un peso, a comprimere dell'aria ed a girare un volante, la lunghezza della corsa di andata e conseguentemente anche l'altra diminuivano tanto da ridursi quasi che a nulla anche quando le resistenze in discorso erano proporzionalmente piccolissime in confronto delle resistenze momentanee; ed in questo caso, per non perdere affatto la forza conveniva adoperare idrogeno bicarbonato, mescolato con una dose d'aria assai maggiore di quella richiesta per la completa combustione.

Osservavano poi gl'inventori che le resistenze tanto momentanee come continue producevano nel cilindro uno scalcio violento e che le pareti della camera detonante si riscaldavano incomparabilmente più che nel caso dello stantuffo libero³⁹.

³⁹ Nel compiere esperienze con resistenze, sia momentanee che continue, P. Barsanti e Matteucci si accorsero di due effetti molto importanti: il contraccolpo violento al momento dell'esplosione ed un più elevato riscaldamento delle pareti del cilindro rispetto al caso dello stantuffo libero.

La spiegazione di questi fenomeni va ricercata nel fatto che la combustione, iniziata a pressione atmosferica, migliorava, in presenza delle resistenze, per l'aumentare delle pressioni e delle temperature rispetto al caso dello stantuffo non vincolato. Le forze, esercitate sullo stantuffo dalle resistenze, permettevano alla pressione interna di raggiungere maggiori valori rispetto al caso dello stantuffo libero; conseguentemente la combustione veniva ad essere più completa con un maggior sviluppo di calore che portava ad un più sensibile riscaldamento delle pareti del cilindro; la temperatura più alta favoriva a sua volta il processo di combustione.

Così come i due inventori non riuscirono a dare una interpretazione corretta alla necessità di impiegare aria in eccesso a causa dell'errata considerazione che la combustione fosse completa ed istantanea, non poterono spiegare, per lo stesso motivo, l'origine dei fenomeni che andavano osservando.

Il motivo del contraccolpo violento si può spiegare osservando che la velocità di combustione, a causa delle pressioni e delle temperature più elevate, doveva essere più elevata.

Possiamo ancora osservare che l'espansione limitata, nel caso della resistenza continua, giustificava il maggiore riscaldamento della camera di combustione a causa della minor quantità di calore che veniva trasformata in lavoro rispetto alla situazione di stantuffo libero; l'impiego di aria in eccesso è qui, ancora una volta, consigliato per contrastare la perdita di lavoro senza che se ne fornisca, comunque, una spiegazione. Quando, invece, si aveva una resistenza solo momentanea la

Considerazioni interpretative ed accertamento dell'esistenza della depressione
entro il cilindro

"Erano questi fatti importantissimi dei quali bisognava rendersi esatto conto. Lo stantuffo libero ed anche vincolato dalle resistenze momentanee trovandosi in condizioni pressoché uguali a quelle di un proiettile in un pezzo di artiglieria, perché non veniva scagliato fuori dal cilindro? Chi ne arrestava così prontamente e potentemente lo slancio? Chi infine l'obbligava a retrocedere con tanta forza e prestezza? Qui interviene l'azione di una forza occulta, che paralizzava, o, per dir meglio, raccoglieva ed invertiva l'effetto dell'esplosione. Non si poteva attribuire il fermarsi così presto e ad un tratto dello stantuffo all'attrito da esso sofferto strisciando contro le pareti del cilindro, né la rapidità del ritorno si sarebbe spiegata in modo soddisfacente facendola intieramente dipendere dalla condensazione dei prodotti e di residui della combustione.

Il Barsanti e il Matteucci prima supposero e poi trovarono confermato dall'esperienza, che la miscelanza detonante imprimeva allo stantuffo tanta quantità di moto da fargli percorrere uno spazio maggiore di quello dovuto all'espansione della carica, e quindi a lasciare un vuoto dietro di se, col quale si spiegava agevolmente il subitaneo fermarsi ed il rapidissimo retrocedere dello stantuffo medesimo.

Praticato nelle pareti laterali del cilindro a poca distanza dalla camera detonante un'orificio munito di una valvola che si apriva dall'interno all'esterno perché per esso si aprisse un'uscita al miscuglio detonante appena che lo stantuffo avesse cominciato la sua corsa di andata, osservarono gli Inventori che detta valvola restava chiusa. Toltala di mezzo e sostituitole la fiammella di un lume che attesa la somma facilità di muoversi era tanto più opportuna, videro non senza qualche sorpresa che la fiammella invece di ricevere un soffio dal di dentro al di fuori veniva aspirata nel cilindro con tanta forza che si spengeva."

Conclusione del manoscritto

"Per tal modo restava provato:

1° Che la forza espansiva della carica incendiata non accompagnava lo stantuffo neppure per un quarto della sua corsa.

corsa dello stantuffo non aveva una diminuzione apprezzabile e quindi il lavoro era in assoluto aumentato poiché a quello accumulato dallo stantuffo andava ad aggiungersi quello di deformazione o rottura del vincolo.

2° *Che la durata dell'espansione non poteva valutarsi nemmeno in due centesimi di minuto di secondo, giacché la durata di tutta la corsa era soltanto di sette centesimi.*

3° *Che lo stantuffo effettuava la massima parte della sua corsa in grazia della quantità di moto impressagli nel primo istante dall'esplosione; ed essendo per tal guisa obbligato a formare un vuoto non tardava ad essere arrestato dalla colonna atmosferica incidente sulla faccia esterna di esso.*

4° *Che a questa pressione doveva attribuirsi la corsa di ritorno."*

In queste conclusioni non vi è alcun cenno alle possibili applicazioni industriali, anche se queste dovevano essere ben presenti nella mente dei due inventori, ma solo delle osservazioni sui fenomeni osservati che danno al manoscritto carattere di pura ricerca fisica.

Dalle conclusioni a cui giunge il manoscritto è lecito supporre che quello che si proposero P. Barsanti e Matteucci non fu semplicemente la costruzione di un motore atmosferico, ma, piuttosto, cercarono di risolvere in modo generale il problema della combustione esplosiva, ricercando i massimi delle quantità di lavoro assorbite temporaneamente e successivamente rese dallo stantuffo, trasformato in organo accumulatore. La lettura del Manoscritto Ximeniano amplia quindi notevolmente gli orizzonti culturali da attribuirsi ai due inventori ben al di là di quanto emerge dalla Memoria dei Georgofili.

Capitolo 8

La priorità dell'invenzione di P. Barsanti e Matteucci

In passato la questione della priorità è stata molto dibattuta: fortunatamente esistono molti scritti che documentano ampiamente ed inequivocabilmente l'opera di P. Barsanti e Matteucci. Gli studi approfonditi, compiuti sia in Italia che all'estero, hanno dimostrato definitivamente la priorità dei due italiani nei confronti di Lenoir e di Otto e Langen.

Nel 1860 abbiamo la comparsa in Francia del motore del meccanico francese Lenoir, il quale lo brevettò in data 24 gennaio 1860: esso era a combustione interna e ad azione diretta senza precompressione; era, inoltre, a due corse, una da considerarsi attiva che comprendeva l'aspirazione, l'esplosione e l'espansione e l'altra che serviva per l'espulsione dei gas combusti. A Lenoir furono di aiuto le esperienze compiute da Hugon, il quale aveva costruito nel 1858 un suo motore ad azione diretta. Nel 1860 il francese L. Figuer scrisse un articolo con il quale annunciava ai suoi connazionali e al mondo intero che Lenoir aveva inventato un motore a gas, presentandolo come una sorprendente novità. Comunque, ancora in Francia, all'apparizione del motore Lenoir, l'abate Migne difese sul giornale "le Monde" la priorità dell'invenzione italiana; inoltre, egli si fece distributore in patria delle azioni della Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci^[25, 26].

Nel capitolo 6 abbiamo visto che questo tipo di motore era già stato studiato da P. Barsanti e Matteucci qualche anno prima, come testimoniano alcune lettere citate; ulteriori commenti paiono quindi superflui.

Il motore dei tedeschi Nikolaus August Otto ed Eughen Langen fece la sua apparizione trionfale nel 1867 all'Esposizione Universale di Parigi: per la sua realizzazione i due inventori ottennero il primo premio, consistente in una medaglia d'oro, davanti a quattordici concorrenti. Questa macchina era, come abbiamo già

detto in altre occasioni, una copia abbastanza fedele di quella dei due italiani in quanto ne sfruttava i principi di funzionamento e ne riproduceva molti degli accorgimenti tecnici.

Otto era un commerciante che successivamente si dedicò agli studi tecnici; egli inizialmente studiò e costruì un piccolo motore in cui realizzava un ciclo simile a quello delle macchine a quattro tempi. Tale motore non dette i risultati sperati in quanto le esplosioni erano particolarmente violente ed il consumo di gas troppo elevato; orientò, quindi, i suoi studi verso la costruzione di un motore ad azione differita come quello dei due italiani, riuscendo a realizzare un primo motore atmosferico che chiamò a "*pistone volante*".

Così come la collaborazione con Matteucci permise a P. Barsanti di sviluppare pienamente le sue idee, la collaborazione con Langen, ottimo meccanico, permise a Otto notevoli miglioramenti della macchina tanto che questa divenne funzionante e fu quindi brevettata nel 1864. Successivamente questo modello fu modificato e migliorato fino ad arrivare alla realizzazione presentata a Parigi nel 1867.

Il motore atmosferico dei due tedeschi altro non era che la versione senza stantuffo ausiliario, citata nel brevetto francese del 1858, dei due italiani: la macchina tedesca si differenziava da quella italiana solo per alcuni dispositivi di carattere cinematico.

In Fig. 20 e 21 ^[27] sono riportate, rispettivamente, le sezioni del motore Barsanti e Matteucci del 1856 e di quello Otto e Langen del 1867, costruito cioè 11 anni dopo; è evidente la notevole analogia fra le due macchine. I due motori erano uguali non solo nei principi di funzionamento, ma anche in molti elementi costruttivi. Nel motore tedesco l'asta con la cremagliera dentata trasmetteva il movimento solo nella corsa di ritorno tramite un dispositivo a ruota libera; al sollevamento forzato dello stantuffo per aspirare il gas e l'aria provvedeva una leva il cui movimento era determinato da un albero parallelo a quello motore con l'intermezzo di un arpionismo: tutto questo era disposto in modo da interrompere la trasmissione al momento dell'esplosione. Una differenza fra i due motori può essere vista nel diverso metodo di accensione della miscela gassosa: quello italiano usava una scintilla elettrica mentre quello tedesco una fiammella a gas secondo il sistema del francese Hugon; comunque anche questo tipo di accensione era stato considerato a suo tempo dai due italiani.

Fig. 20 - Sezione del motore Barsanti e Matteucci conforme alla costruzione "Benini" del 1856.

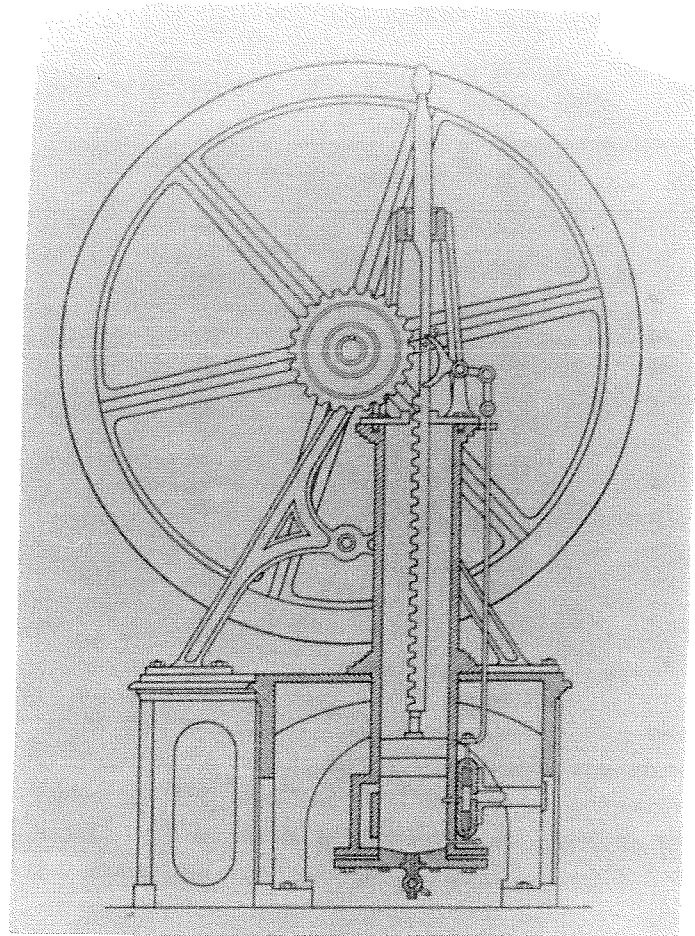
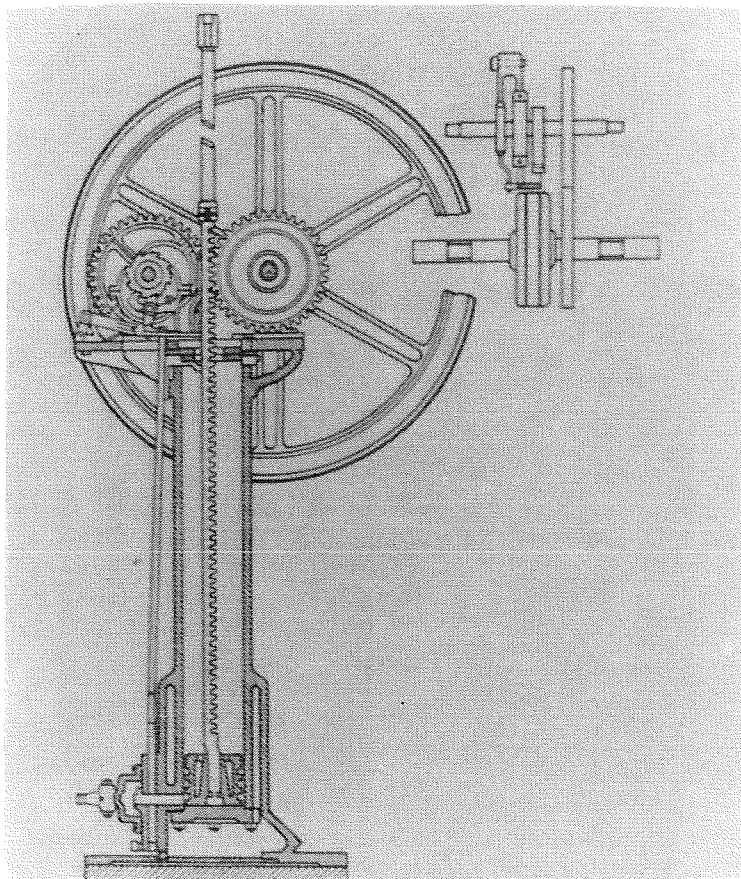


Fig. 21 - Sezione del motore Otto e Langen.



A molte persone non sfuggì l'evidente analogia fra i due motori. Fra queste possiamo ricordare il Signor Emile Durand, direttore del giornale "Le Gaz" di Parigi, che ne scrisse in un suo articolo ^[10] ("Le Gaz" - n°4 del 31 Luglio 1867 - Biblioteca Nazionale di Parigi), che riproduciamo in alcune sue parti, tradotte dalla copia fotografica dell'originale del giornale conservata nell'archivio dell'Osservatorio Ximeniano.

".....Noi non sapremmo applaudire altrettanto alla distinzione di cui essa (Esposizione) ha onorato il motore a gaz dei Sigg. N. A. Otto e Co. di Colonia; noi crediamo che in questa circostanza essa ha fatto falsa strada, e che la medaglia

d'oro che essa ha assegnato loro si è sbagliata di porta.....A prima vista, quest'apparecchio a noi è apparso non essere altra cosa che la cattiva imitazione dell'invenzione dei Sigg. Barsanti e Matteucci, brevettata in Francia il 9 Gennaio 1858; se questo non è lo stesso apparecchio è almeno suo fratello e la maniera come funziona mostra questa parentela fino all'evidenza. Ecco qual è il meccanismo dell'istrumento di cui l'aspetto esteriore ha la forma di una colonna sopportante tutto un meccanismo di roteggi.

Il piede della colonna è il cilindro nel quale gioca il pistone. Questo cilindro è verticale. Il pistone è sormontato da un'asta egualmente verticale formante cremagliera, destinata a mettere in movimento un pignone dentato fissato all'albero di comando al quale sono applicati da una parte il volante della macchina e dall'altra la puleggia di trasmissione. Ecco l'apparecchio semplificato, lasciando da parte gli organi accessori indispensabili ma che non cambiano niente al principio.

Il gaz e l'aria arrivano dentro al cilindro sotto al pistone, un becco di gaz infiamma la miscela, l'esplosione si produce e spinge il pistone dal basso all'alto. La cremagliera si alza allora, ma per virtù di una disposizione di carico essa non ingrana punto con i denti del pignone.

Giunta al punto più alto della sua corsa, L'aria esterna pressa sul pistone di tutto il peso dell'atmosfera, perché il cilindro è aperto nella sua parte superiore, la cremagliera ricade dunque trascinata dal pistone ed è allora solamente che essa si ingrana con i denti del pignone, e che essa comunica al volante e alla puleggia di trasmissione la forza di impulso, forza motrice....."

La descrizione del funzionamento della macchina continua, ma già da queste parole è evidente come lo scrivente si fosse accorto della similitudine con il motore Barsanti e Matteucci.

Il direttore del giornale "Le Gaz" ebbe anche la cortesia di inviare una lettera, datata 22 agosto 1867 (let. n°15), a Matteucci per informarlo degli avvenimenti; questi, appena la ricevette, partì subito per Parigi, portando con se i progetti dei motori costruiti, per rivendicare la priorità dell'invenzione. Purtroppo le sue argomentazioni non furono prese molto in considerazione in quanto prevalse la valutazione della diversità degli organi di distribuzione del miscuglio infiammabile, del sistema di accensione del miscuglio stesso, degli organi mediante i quali lo stantuffo comunicava il movimento al volano: tutti questi erano perfezionamenti di organi secondari, mentre non si tenne conto o non si volle tenere conto, del principio e dell'architettura del motore, che erano le vere innovazioni che distinguevano la

macchina degli italiani da qualsiasi altra prodotta fino ad allora. Riguardo, poi, alle proteste sulla priorità della scoperta, a Matteucci fu risposto che l'importanza non riguardava tanto l'inventore quanto l'invenzione. Matteucci tentò altre volte negli anni successivi di far valere le sue ragioni senza, però, alcun successo. Essendo l'invenzione dei due italiani protetta da vari brevetti presi in molte nazioni europee è lecito domandarsi se Matteucci avesse effettivamente intrapreso un'azione legale di rivendicazione: purtroppo non vi sono prove che confermino una rivendicazione a livello legale.

La priorità dell'invenzione italiana fu riconosciuta, successivamente, anche da storici tedeschi con giudizi sostanzialmente obiettivi. Già nel 1867, alla prima comparsa del motore Otto e Langen all'Esposizione Universale di Parigi, il Prof. Kühlmann di Hannover riprodusse negli atti dell'Unione Industriale di quella città i disegni del brevetto francese Barsanti e Matteucci, ponendoli a confronto con quelli di Otto e Langen e mettendo in evidenza le analogie. Erroneamente, purtroppo, egli credeva che il motore dei due italiani non fosse mai stato realizzato: questo lo portò a concludere che Otto e Langen, pur influenzati nelle idee dall'invenzione italiana, erano certamente i primi costruttori.

Lo storico tedesco Schöttler commentando l'entusiasmo suscitato dal motore di Otto e Langen ebbe a dire dell'invenzione dei due tedeschi ^[28]: "... *del resto questa macchina non era senza precursori. Gli italiani Barsanti e Matteucci avevano già alcuni anni prima pensato a qualche cosa di simile*" e più avanti aggiunge: "*Se la disposizione Barsanti e Matteucci fosse stata più generalmente nota, la nuova invenzione difficilmente avrebbe fatto tanta meraviglia, in quanto gli italiani mostrano nell'identico modo ciò che ne costituisce l'essenza, cioè il volo libero dell'albero e la ripresa dello stantuffo nella discesa*".

Schöttler giudicò il motore Otto e Langen non un'invenzione, ma un perfezionamento della macchina italiana nel dispositivo trasmettente ed in quello di accensione, mediante fiamma, che peraltro era dovuto a Hugon ed era stato provato all'inizio delle loro ricerche anche dai due italiani.

Nell'articolo del Dott. Goldbeck vi si trova scritto a commento delle onoranze tenutesi in onore di Otto nel 1952 a Colonia ^[29]: "...*il motore atmosferico Otto e Langen fu identico come principio al motore Barsanti e Matteucci. Nel 1857 Barsanti aveva ottenuto un brevetto per un motore atmosferico con parecchi disegni che egli sviluppò a tal punto, insieme a Matteucci, che essi poterono esser messi in opera. Ma i progettisti non riuscirono ad introdurre in pratica il motore*".

Evidentemente lo studioso tedesco, pur riconoscendo la priorità dell'invenzione degli italiani, dimentica, o ignora, l'esistenza del brevetto inglese del 1854 poiché si riferisce a quello successivo del 1857.

Hugo Güldner dedicò alla macchina costruita a Zurigo nel 1861, anche se, erroneamente, la ritenne costruita a Searing nel 1857, la prima illustrazione del suo celebre trattato sui motori a combustione, *Calcul et construction des moteurs à combustion*, stabilendo così che fu effettivamente costruito un motore Barsanti e Matteucci: infatti egli ebbe a scrivere che i poco fortunati inventori se non furono i primi ad impiegare la forza prodotta dall'esplosione di una miscela gassosa per produrre un moto regolare ed uniforme, furono però i primi a risolvere quel difficile problema in modo pratico ed attuabile. Il Güldner, riferendosi al motore dei due italiani, ebbe a dire: *"con esso comincia il vero pratico divenire della nostra macchina termica"*; inoltre, parlando di Otto e del suo tentativo di costruire un motore a quattro tempi, affermò: *"un anno dopo lo troviamo sulle vie dell'utilizzazione della forza motrice del gas indicate da Brown (1832) e da Barsanti e Matteucci"*.

In Italia fu il senatore Giuseppe Colombo, che conosceva bene il motore costruito dai due italiani e le varianti dovute al loro collaboratore Babacci, ad elevare parole di vibrata protesta per quello che era un plagio manifesto a danno di P. Barsanti e Matteucci. In "Una Grande Invenzione Italiana" di P. Alfani, Dicembre 1931, sono riportate le parole che egli scrisse sull'Annuario Scientifico Italiano (anno 1868, pag. 564) in occasione dell'apparizione del motore tedesco all'Esposizione Universale di Parigi ^[30].

"All'Esposizione Universale del 1867 nella sezione prussiana figurava una macchina a gas, esposta dai signori Otto e Langen, la quale fu ritenuta del tutto nuova, fece molta sensazione ed ottenne, unica fra le macchine a gas, una medaglia d'oro.

Per noi Italiani, questa macchina doveva destare la più dolorosa impressione: avrebbe dovuto destare un sentimento di universale vergogna, se la generalità del pubblico sapesse davvero quanto si fa in un paese e non fosse piuttosto noncurante dei tentativi che vi si fanno, anzi scettico al loro riguardo. Noi intendiamo parlare di un fatto che vogliamo credere verrà reso noto fra breve e universalmente, e in quella stessa città in cui la macchina Langen ebbe un vero trionfo; il fatto che la macchina prussiana, benché non si possa punto dubitare che sia un'invenzione originale del Sig. Langen, che ne ebbe l'idea qualche anno fa, è puramente e semplicemente la

macchina Barsanti e Matteucci da molti anni pubblicata e conosciuta in Italia. Tutti i lineamenti caratteristici della macchina Langen vi si trovano: il cilindro verticale, lo stantuffo libero durante l'espansione e che si innesta con l'albero motore nella corsa di ritorno. La sola differenza consiste in ciò, che nel motore Barsanti c'è un secondo stantuffo, il quale mentre serve ad attuire l'urto inevitabile nel momento in cui il primo è lanciato in su dall'esplosione utilizza anche, in piccola parte, la forza dell'esplosione, facendola servire al passaggio dei punti morti; l'accensione vi si fa con la scintilla elettrica invece dell'accenditore a gas che è del resto un'invenzione francese.

Senonché, come avviene sempre in Italia, si nominarono commissioni per giudicarla, se ne ebbero rapporti favorevoli, ma non si seppe mai formare una Società seria che ne spingesse l'applicazione e ne facesse conoscere all'estero i pregi; e Barsanti, l'inventore della macchina morì senza aver avuta la soddisfazione di saperla apprezzata. Gli elogi tributati ora alla macchina Langen, avrebbero dovuto essere il compenso delle pene, degli stenti, dei dispiaceri che l'invenzione dovette costargli, ma non gli era riservato di giovarne; anzi fu abbastanza fortunato di morire prima di vederli così largamente tributati ad un altro."

Il senatore nel suo discorso cita il motore a stantuffo ausiliario dimenticandosi che P. Barsanti e Matteucci avevano ideato, costruito e brevettato anche motori ad un solo stantuffo simili a quello proposto dai tedeschi.

Altro fatto che dobbiamo ricordare è che, a circa quattro anni dal primo brevetto inglese, datato 13 maggio 1853 e pubblicato nel giugno dello stesso anno sul *Morning Journal*, fu pubblicato sulla rivista inglese *The Engineer*, a quel tempo molto diffusa e stimata negli ambienti scientifici inglesi ed esteri (e, quindi, anche in Germania), un articolo elogiativo, corredato di disegni, del motore; è lecito domandarsi se Otto e Langen fossero effettivamente ignari del lavoro di P. Barsanti e Matteucci e veramente convinti che la macchina da loro realizzata fosse frutto solo dei loro studi.

Incoraggiati dal successo ottenuto all'Esposizione di Parigi e dagli apprezzamenti che gli giungevano da più parti, Otto e Langen continuarono i loro studi perfezionando il loro motore: sostituirono, infatti, il meccanismo a cremagliera ed il pistone volante con un sistema articolato e con un pistone a corsa definita. In commercio furono posti circa cinquemila motori che sfruttavano questi ultimi accorgimenti: la loro potenza variava da 0,5 a 3 cavalli.

Nel 1882 Otto venne insignito della laurea ad honorem dalla Università di Wuertzburg per *"aver inventato un motore che porta il suo nome"*.

Anche il Clerk ebbe a scrivere nel suo trattato *The Gas Engine* del 1893, riguardo al motore di Otto e Langen, che *"era assolutamente identico nel principio con la precedente invenzione del Barsanti e Matteucci"*.

Il 13 dicembre 1931, nel Salone dei Cinquecento in Palazzo Vecchio a Firenze, P. Guido Alfani, direttore dell'Osservatorio Ximeniano, per iniziativa dell'Associazione per il culto delle Memorie Patrie, tenne una solenne rivendicazione dell'invenzione del motore a scoppio di P. Barsanti e Matteucci, alla presenza delle autorità e di numerosissime rappresentanze: furono presentate richieste, memorie e documenti per ottenere un riconoscimento ufficiale dell'invenzione, ma non vi fu alcun seguito a tutto questo.

Nei giorni 23 e 24 ottobre 1954 si tennero celebrazioni imponenti per il centenario dell'invenzione: il pomeriggio del 23 varie autorità resero omaggio alla tomba di Matteucci, mentre il 24 la salma di P. Barsanti venne trasportata trionfalmente da S. Giovannino a S. Croce, attraverso le principali vie di Firenze, salutata dalle autorità, da varie associazioni e da tutti i cittadini; venne anche posta una lastra marmorea recante l'iscrizione: *"Nella gloria del tempio - ove riposano i grandi - è accolto Eugenio Barsanti scolio, che con Felice Matteucci ideò e attuò il motore a scoppio, destinato a trasmutare il volto e il ritmo del vivere sociale"*.

Al Museo di Storia della Scienza a Firenze fu allestita per il centenario dell'invenzione la "Mostra del motore a scoppio".

In occasione del centenario della morte di P. Barsanti venne organizzata, dal Comune di Pietrasanta, dagli Scolopi e dall'Università di Firenze, una solenne commemorazione che si tenne a Firenze in Palazzo Vecchio, nel salone dei Dugento, il 20 novembre 1964.

Nel 1986, per ricordare i cento anni dell'invenzione dell'automobile (Gottlieb Deimler 1886), il Collegio degli Ingegneri della Toscana, l'Opera di Santa Croce ed il Comune di Pietrasanta promossero un incontro di studio sull'inventore del motore a scoppio.

Capitolo 9

Il motore Barsanti e Matteucci e l'evoluzione del motore a scoppio

Si inquadra l'invenzione di P. Barsanti e Matteucci nel contesto di quella che fu l'evoluzione del motore a combustione interna.

Vengono passati in rassegna i predecessori e vengono considerati alcuni aspetti che differenziano i loro motori da quelli Barsanti e Matteucci.

Si esamina quindi, a grandi linee, l'evoluzione del motore a scoppio negli anni immediatamente successivi alla comparsa della macchina dei due inventori. Infine si riporta lo sviluppo dell'opera di P. Barsanti e Matteucci dopo la morte del Padre Scolopio.

9.1 I predecessori

I principi fisici di base del motore Barsanti e Matteucci erano già noti da lungo tempo, come conseguenza di una serie di studi e di prove che risaliva a due secoli addietro, a partire dalle esperienze sulla pressione atmosferica fatte da Torricelli, Pascal e Ottone di Guericke. Il fatto fondamentale è che, facendo tesoro delle acquisizioni scientifiche e delle invenzioni di coloro che lo avevano preceduto, P. Barsanti, con la collaborazione di Matteucci, riuscì a realizzare ed a far funzionare un motore.

L'utilizzazione^[31, 32, 33] delle armi da fuoco dell'energia sprigionata dall'esplosione di una miscela detonante si può far risalire alla fine del Duecento; però l'idea di utilizzare una tale energia per ottenere un "motore" risale indubbiamente solo al XVII secolo, periodo in cui era ormai nota l'esistenza della pressione atmosferica e dei suoi possibili effetti. L'utilizzo della pressione atmosferica a fini meccanici si deve all'abate Jean d'Hauteville nel 1678, il quale costruì una macchina che serviva ad innalzare le acque della Senna per abbellire i giardini del Re Luigi XIV a Versailles: egli pensò di ricorrere all'esplosione della polvere da sparo per espellere

l'aria da un recipiente chiuso, generandovi di conseguenza una rarefazione che avrebbe provocato l'aspirazione dell'acqua⁴⁰.

Ad abbinare i due principi fu Christian Huygens nel 1682: nella macchina da lui ideata la miscela esplodendo doveva lanciare verso l'alto uno stantuffo che veniva fatto ridiscendere sia dal suo peso sia dalla rarefazione prodottasi all'interno; il lavoro compiuto dalla pressione atmosferica avrebbe dovuto servire ad innalzare dei pesi tramite un sistema di funi e carrucole. Nel 1688 Denis Papin, collaboratore di C. Huygens, costruì questa macchina che, purtroppo, non dette risultati pratici apprezzabili; lo studioso osservò, infatti, che lo stantuffo sollevava un peso che era la metà di quello previsto in quanto lo spostamento nella corsa di ritorno era piccolo, non riuscendosi a creare un sufficiente grado di rarefazione poiché era impossibile espellere tutta l'aria contenuta nel cilindro con la sola esplosione della polvere da sparo. Successivamente D. Papin realizzò un vero e proprio motore atmosferico nel quale la depressione sotto lo stantuffo veniva prodotta da una macchina pneumatica azionata da una caduta d'acqua; a questa seguì un'altra in cui si utilizzava la condensazione del vapore per ottenere la rarefazione.

Furono le difficoltà nel produrre un sufficiente grado di rarefazione ad indurre D. Papin ad indirizzare i suoi studi verso la forza ottenibile dal vapore: così, grazie a lui e ai suoi successori Savary, Newcomen, Watt e Stephenson, la macchina a vapore poté essere realizzata tre quarti di secolo prima del motore a scoppio nonostante che i principi di funzionamento su cui si basava quest'ultimo fossero noti da lungo tempo. Ma i problemi tecnici connessi con il motore a scoppio erano più numerosi e più difficili da risolvere di quelli relativi alla macchina a vapore.

Si deve rilevare che a quei tempi si era in grado di concepire una macchina a combustione interna, ma il combustibile usato, cioè la polvere da sparo, non era certamente dei più adatti in quanto sorgevano notevoli difficoltà al momento di evacuare la camera di scoppio dai prodotti della combustione per poi reintrodurvi una nuova carica.

Prima di passare a descrivere il lavoro dei vari scienziati che a partire dalla fine del XVIII secolo ripresero gli studi sul motore a scoppio è doveroso ricordare Alessandro Volta e la sua famosa Pistola non tanto perché fece nascere nella mente

⁴⁰ La macchina a polvere pirica dell'abate di Orléans è nota attraverso una memoria stampata a Parigi, intitolata *Pendule perpétuelle, avec la manière d'élever l'eau par la moyen de la poudre à canon*.

di P. Barsanti le sue prime intuizioni o perché in essa vogliamo vedere una sorta di motore a combustione interna, ma per il modo estremamente semplice con cui veniva incendiato il gas usando una scintilla elettrica prodotta da una macchina elettrostatica: questo sistema di accensione verrà adoperato, con le dovute modifiche, dai vari inventori succedutisi fino ai giorni nostri.

Nel 1791 l'inglese John Barber propose la costruzione di una specie di "turbina a combustione" conseguendo in Inghilterra un brevetto con il numero 1833: egli pensò di utilizzare una miscela di due getti, uno di aria e l'altro di gas, da infiammare all'entrata della camera di scoppio dalla quale il getto dei gas combusti avrebbe dovuto investire e mettere in movimento una ruota a palette. Non si ha alcuna notizia sulla realizzazione di questa macchina e si è quindi portati a credere che essa sia rimasta solo allo stato di progetto.

Circa tre anni più tardi, il 7 maggio 1794, l'inglese Robert Street conseguì un brevetto, recante il numero 1893, relativo "alla produzione di una forza di vapore infiammabile per mezzo di liquido, aria, di fuoco e di fiamma, per mettere in moto le macchine e le pompe": si trattava di un motore a scoppio ad azione diretta, il quale, però, si rivelò assai imperfetto e di difficile realizzazione pratica.

I francesi considerano Philippe Lebon d'Humbersin come l'autentico precursore del motore; effettivamente egli fu l'autore nel settembre del 1799 di un brevetto riguardante *"nuovi mezzi d'impiegare i combustibili più utilmente, sia per il calore, sia per la luce, e di raccogliere i differenti prodotti"*; la sua macchina, però, non si dimostrò nella pratica molto funzionale. La macchina di Lebon era di tipo atmosferico: in essa due pompe immettevano l'aria in un apposito recipiente insieme a del gas illuminante; successivamente la miscela era introdotta nel cilindro e fatta esplodere mediante scintilla elettrica; lo stantuffo era, così, prima spinto in avanti e poi richiamato indietro dalla pressione atmosferica essendosi creata all'interno una certa rarefazione dovuta all'esplosione.

Dobbiamo ricordare che a lui si deve il merito della scoperta del gas illuminante di cui fornì importanti indicazioni per il suo utilizzo: in una aggiunta al brevetto, presentata nel 1801, accennò anche ad un suo possibile impiego in un motore.

In una memoria presentata nel 1820 alla Società Filosofica di Cambridge ed intitolata *"Sulla applicazione del gas idrogeno per produrre una potenza motrice nelle macchine, con una descrizione di un motore mosso dalla pressione dell'aria sopra un vuoto, prodotto dalla esplosione di idrogeno e di aria atmosferica"*, l'inglese W. Cecil dichiarò di aver costruito e sperimentato una macchina atmosferica

che funzionava a 16 giri al minuto consumando 0.487 m³ di idrogeno all'ora. In questa memoria Cecil affermò di avere costruito e fatto funzionare questa sua macchina e, inoltre, di aver notato che le esplosioni producevano un notevole rumore per cui consigliava di utilizzare cilindri più grandi per ovviare all'inconveniente. Purtroppo, a parte questo scritto, non abbiamo altre informazioni a disposizione che provino l'effettiva funzionalità di questa macchina; comunque molti autori ritengono che il Cecil avesse costruito un apparecchio per misurare la pressione di esplosione della miscela idrogeno-aria e non un motore a scoppio vero e proprio. Da rilevare è che questo è cronologicamente il primo serio tentativo di usare l'idrogeno per ricavarne energia motrice.

Nel 1824 Samuel Brown, che gli inglesi considerano come l'inventore del motore a scoppio, costruì una macchina a cilindro verticale raffreddata da una corrente d'acqua fresca che avvolgeva il cilindro stesso e favoriva la condensazione dei gas combustibili interni: essa utilizzava come combustibile il gas illuminante scoperto da Lebon. Il gas veniva introdotto in basso, mentre in alto era posta una valvola che permetteva la fuoriuscita dell'aria all'atto dell'esplosione; veniva, poi, immessa un'opportuna quantità d'acqua che causava una rarefazione interna, dovuta alla condensazione dei gas non espulsi, così che la pressione atmosferica esterna muoveva lo stantuffo. Il motore costruito nel 1824 era in grado di sollevare 300 galloni di acqua ad una altezza di 15 piedi con un consumo di 1 piede cubo di gas. Due anni più tardi fu realizzata una nuova macchina a tre cilindri azionanti lo stesso albero motore; di quest'ultimo tipo nel 1832 ne erano in funzione quattro: una a Croydon, una a Cambridge e due a Old Brompton. Da uno scritto di J. A. Whitfield sappiamo che nel 1825 un motore del Brown sarebbe stato applicato ad un carro con un passo di 2.60 m ed una carreggiata di 1.37 m., con ruote del diametro di 1.52 m ed un peso di circa una tonnellata; i cilindri di questo motore avevano un diametro di 304.8 mm ed una corsa di 609.6 mm: durante una prova sulla salita di Shooter Hill, effettuata nell'ultima settimana del maggio del 1826, questo carro avrebbe facilmente effettuato il percorso. Inoltre dalle cronache del tempo sappiamo che nel 1827 un motore dello stesso tipo del peso di 600 libbre venne posto sopra un battello di 36 di lunghezza e sperimentato lungo il Tamigi: la velocità raggiunta fu di 7 miglia all'ora.

Non avendo notizie di altre macchine che successivamente sfruttassero il sistema inventato dal Brown, siamo indotti a credere che esso non doveva aver dato dei risultati soddisfacenti e quindi sia stato abbandonato.

Dei brevetti furono presentati da Welman Wright nel 1833, dal macchinista Braun nel 1835, da William Barnett nel 1838 e da James Johnston nel 1841 ma nessuno di questi ebbe un effettivo utilizzo pratico.

Nel brevetto di Wright, recante il numero 6525, era descritto un motore a doppio effetto il cui pistone azionava, tramite una biella, l'albero motore: questa macchina era fondamentalmente una modificazione della macchina a vapore. Il gas e l'aria venivano immessi separatamente all'interno del cilindro mediante pompe; la miscela formata veniva fatta esplodere in camere sferiche ed i gas combusti erano espulsi da un'apposita valvola al termine della corsa dello stantuffo; l'accensione avveniva tramite una fiamma esterna; il raffreddamento era ad acqua. Sembra che questo motore una volta realizzato abbia dato risultati poco soddisfacenti.

W. Barnett conseguì tre brevetti, il primo dei quali è del 1835 e reca il numero 7615, descrittivi tre tipi diversi di macchine: uno a semplice e gli altri a doppio effetto. In due di essi il gas e l'aria erano compressi separatamente prima di essere immessi nella camera di scoppio, mentre nel terzo la compressione della miscela avveniva tramite una pompa e lo stantuffo stesso; in tutti è adottato un ingegnoso sistema di accensione a trasporto di fiamma che venne successivamente adottato da Hugon, da Otto e da P. Barsanti e Matteucci. Comunque si ritiene che questi motori siano rimasti solo allo stato di disegno.

Da evidenziare è il fatto che sia Wright sia Barnett pensarono ad una compressione preliminare compiuta fuori del cilindro.

Il motore di Johnston, che funzionava a gas idrogeno ed ossigeno, con condensazione del vapore d'acqua prodotto nella combustione, conseguì dei buoni risultati, anche se non ebbe molta fortuna. Nel brevetto, recante il numero 8841, è descritto un motore a cilindro verticale in cui, inizialmente, era fatta esplodere in basso una miscela d'idrogeno ed ossigeno; dopo l'esplosione i due gas si combinavano per formare acqua e creare, quindi, una situazione di rarefazione che favoriva insieme all'esplosione di un'altra quantità di questa miscela, introdotta sopra lo stantuffo quando questo aveva raggiunto l'estremità superiore, la ricaduta dello stantuffo stesso; il ciclo ricominciava quando lo stantuffo era ritornato in basso.

Nel 1842 abbiamo il motore di Drake, detto a tubo incandescente: in esso un tubetto di ghisa opportunamente riscaldato doveva incendiare la miscela quando lo stantuffo era a metà corsa; di questa macchina ne fu costruito un esemplare della forza di 20 cavalli che figurò all'esposizione di Filadelfia.

Nel 1841 l'italiano Luigi De Cristoforis costruì una macchina di nuova concezione per il sollevamento dell'acqua mediante il vuoto prodotto in una camera chiusa; l'innovazione più importante è che essa sfruttava come combustibile una miscela di aria e vapori di nafta: era in pratica il precursore del motore Diesel. Di questo motore abbiamo una dettagliata descrizione in una memoria conservata dal Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti, di cui De Cristoforis fu presidente succedendo ad Alessandro Manzoni. L'apparecchio fu chiamato dal suo costruttore "*macchina igneo-pneumatica*": il suo meccanismo doveva essere molto ingegnoso poiché, come risulta dalle relazioni del tempo, le esplosioni si succedevano regolarmente e quindi il moto fornito era più che soddisfacente. Il consumo della macchina, come riferiscono gli Atti del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti, era di un volume d'olio per il sollevamento di diecimila volumi di acqua all'altezza di un metro.

Durante i suoi studi De Cristoforis aveva già ben chiaro che la nuova forza motrice generata dalla macchina poteva avere un effettivo utilizzo pratico solo se essa avesse rispettato i seguenti principi fondamentali:

- I) gli agenti utilizzati dovevano essere abbondanti in natura
- II) le spese di costruzione non dovevano essere eccessive
- III) le azioni degli organi in movimento dovevano essere sincrone e senza anomalie
- IV) non dovevano esserci pericoli di facili guasti nel sistema.

Questo motore, però, non ebbe sviluppi successivi e cadde presto nell'oblio: probabilmente il suo costruttore si accorse che esso non rispondeva a tutti i requisiti imposti. Qualche anno dopo realizzò un altro motore più sofisticato che aveva come caratteristiche la precompressione e la combustione continua.

Merita di essere ricordato anche il motore di Christian Reithmann del 1852, che era simile a quello di Drake e funzionava con una miscela di aria e gas idrogeno: questa miscela era prima compressa e poi infiammata con una scintilla in una camera separata da quella del pistone; successivamente i gas provenienti dalla combustione erano utilizzati in un motore con stantuffo.

I tentativi per realizzare una macchina che fornisse un moto abbastanza regolare furono, pertanto, molti, ma tutte le invenzioni citate o rimasero allo stato di progetto o portarono alla costruzione di motori talmente complicati da riuscire del tutto inutilizzabili.

9.2 Considerazioni su alcuni aspetti di base relativi ai motori Barsanti e Matteucci e a quelli dei loro predecessori

Il motore di P. Barsanti e Matteucci è stato definito "atmosferico" come quelli inventati da vari studiosi, loro predecessori, ma è necessario fare delle precisazioni in quanto esistono notevoli diversità nei concetti di partenza che poi condizionarono le successive realizzazioni.

Gli scienziati d'Hautefeuille, nel 1678, Huygens, nel 1682, e Papin, nel 1688, idearono delle macchine che si servivano dello scoppio di polvere da sparo per generare una rarefazione in una camera, od in un cilindro, in modo da poter poi sfruttare la pressione atmosferica, la quale, sulla fine del XVII secolo, era al centro di molti studi. Questi studiosi cercarono di ricavare lavoro utile dallo spostamento di masse d'acqua o da quello di uno stantuffo, grazie all'azione della pressione atmosferica.

Per poter ottenere una migliore e più veloce rarefazione, le macchine progettate da questi tre inventori presentavano la caratteristica comune di avere delle valvole di ritegno, che si aprivano verso l'esterno permettendo all'aria di uscire dalla camera, o dal cilindro, al momento dell'esplosione. Ricordiamo che a tale concetto costruttivo-funzionale si attenne anche De Cristoforis.

Pur riuscendo ad avere la depressione, che permetteva alla macchina di d'Hautefeuille di sollevare l'acqua ed a quelle di Huygens e di Papin di richiamare lo stantuffo, non siamo sicuri se questi studiosi fossero a conoscenza dei veri motivi per cui la pressione interna veniva ad essere minore di quella esterna. Infatti viene spontaneo il dubbio che essi imputassero la depressione alla completa uscita dell'aria al momento dell'esplosione cosicché si veniva a creare un vuoto all'interno della camera di scoppio, ovvero, in altri termini, ritenessero che tutte le particelle, prodotto della combustione dei gas, fossero espulse attraverso le valvole di ritegno, cioè fossero, in pratica, convinti di aver costruito delle macchine pneumatiche.

Ciò che fu intuito da P. Barsanti e Matteucci è, invece, che subito dopo l'esplosione, all'interno della camera di scoppio, vi sono presenti i prodotti della combustione, i quali si trovano ad una temperatura elevatissima e ad una pressione prossima a quella esterna: è il raffreddamento successivo che causa la condensazione di questi residui e, quindi, permette la creazione di una situazione di rarefazione.

9.3 Sviluppo del motore a scoppio negli anni successivi all'invenzione di P. Barsanti e Matteucci

L'evoluzione del motore ^[33] si può far partire dall'anno 1861 quando P. Barsanti era ancora vivo e dedito alla costruzione di nuove macchine: infatti in quel periodo Eugène-Alphonse Beau de Rochas ottenne un brevetto (intitolato "*Nouvelles recherches sur les conditions pratiques de l'utilisation de la chaleur et en général de la force motrice. Description sommaire de quelques perfectionnements à introduire dans les générateurs de vapeur et dans les moteurs à gas*") nel quale erano descritte "le condizioni essenziali richieste in ogni motore a combustione interna di uso pratico per ottenere buoni risultati", ovvero era descritta una macchina funzionante con il ciclo a quattro tempi, che diventerà, praticamente, di uso universale e sostituirà quasi completamente gli altri tipi di motori a scoppio basati su cicli diversi.

Il funzionamento della macchina ideata era il seguente: il pistone, spinto verso l'albero a gomito, aspirava la miscela esplosiva nel cilindro; questa veniva quindi compressa nella fase di ritorno; l'accensione era effettuata nella posizione centrale del "punto morto superiore" e la miscela, bruciando, spingeva di nuovo in basso il pistone durante la terza fase del ciclo; nella quarta ed ultima fase i gas combusti venivano espulsi dal cilindro. Per migliorare il rendimento egli propose di comprimere il fluido prima della fase di combustione, soluzione che, comunque, era già stata espressa da W. Barnett nel 1838. Nonostante avesse brevettato la sua invenzione, Beau de Rochas non costruì alcun motore; fu probabilmente per questo motivo che le sue idee non ebbero adeguata divulgazione ed anzi egli le vide attribuite qualche anno più tardi ad un'altra persona che il destino volle che fosse ancora Otto. Verso il 1878, infatti, studiando un modo per perfezionare una macchina Lenoir, Otto costruì, probabilmente senza conoscere le esperienze compiute da Beau de Rochas, un motore a quattro tempi: il "nuovo" sistema diverrà universalmente noto come "ciclo Otto". La nuova macchina fu presentata alla Mostra Mondiale di Parigi.

Si deve precisare che Otto aveva già compiuto degli esperimenti con il motore Lenoir nel 1861; mentre studiava il miglior metodo di accensione, provò a riportare indietro lo stantuffo dopo l'aspirazione della miscela determinando così la compressione preliminare di essa: si aveva quindi già a quel tempo un primo abbozzo del funzionamento a quattro tempi. Lo studioso tedesco pensò persino alla costruzione di un motore quadricilindrico a due gruppi gemelli di cilindri affacciati nei quali avveniva uno scoppio ad ogni mezza rotazione dell'albero. Durante la

costruzione di questa macchina, cercò anche di migliorare l'eliminazione degli effetti nocivi sulla combustione derivanti dalla presenza dei residui che rimanevano nella camera di compressione. Per espellerli completamente munì ogni stantuffo trasmettente di uno stantuffo ad asta folle: quest'ultimo stantuffo era munito di un gambo scorrevole assialmente nello stantuffo trasmettente in modo da creare, fra i due stantuffi stessi, un cuscinio d'aria; l'aria, precedentemente compressa nella fase di uscita dello stantuffo trasmettente, provocava, espandendosi durante la corsa di ritorno, un allontanamento fra i due stantuffi e, quindi, una più completa espulsione dei gas residui presenti nella camera di combustione. Una migliore espulsione dei gas residui costituiva uno dei problemi fondamentali; ci fu perfino il tentativo, da parte di alcuni costruttori inglesi, di realizzare una macchina che avesse un ciclo a sei tempi: le due fasi aggiuntive, che erano susseguenti a quelle fondamentali già descritte, erano una di aspirazione e l'altra di espulsione di aria, prima della fase di aspirazione normale. Il tentativo di Otto non ebbe successo in quanto il motore da lui realizzato risultava particolarmente complesso. Bisognerà aspettare il 1878 affinché il motore a quattro tempi raggiunga la piena maturità tecnica ed industriale.

Comunque si deve ricordare che già nel 1872 Reithmann, modificando un motore atmosferico a doppio effetto da lui precedentemente realizzato, costruì un motore a quattro tempi: purtroppo esso passò inosservato all'attenzione dei più.

Nel 1873 si ebbe in America la costruzione, da parte di Brayton, di un motore a gas a combustione graduale con compressione fuori dal cilindro.

Nel 1878 in Inghilterra venne ideato da Clerk un motore a due tempi la cui realizzazione pratica sarà poi effettuata da Karl Friedrich Benz. Sarà, comunque, il ciclo Otto quello che avrà il maggiore successo e determinerà le caratteristiche delle moltissime macchine costruite negli anni successivi.

Per quanto riguarda i sistemi di accensione venivano ancora usate la scintilla elettrica o la fiammella, ma troviamo adoperato anche un tubo di platino arroventato. Vennero studiati nuovi gas combustibili e costruiti apparecchi gasogeni più perfezionati permettendo, così, una maggiore diffusione della macchina a gas anche se, all'inizio del XX secolo, la forza motrice più largamente utilizzata era ancora quella prodotta dalle macchine a vapore.

La potenza dei motori costruiti andò sempre più aumentando: nel 1881 vennero superati i 20 cavalli vapore e nel 1917, impiegando gas illuminante, si raggiunsero i 5000 cavalli vapore.

Poco dopo il 1880 fecero la loro comparsa anche i motori a combustione interna funzionanti a petrolio; il nuovo combustibile, prima di essere incendiato, veniva polverizzato nella camera di scoppio da un getto d'aria prodotto da un compressore azionato dalla macchina stessa oppure era vaporizzato da un tubo caldo che si trovava prima della camera di combustione.

Dopo numerosi studi ed esperimenti, tutti rivolti a realizzare una macchina che potesse sfruttare idealmente il ciclo Carnot, Rudolf Diesel riuscì, alla fine del secolo, a costruire un nuovo tipo di motore basato su un ciclo termodinamico che porterà il suo nome. Durante il suo lavoro Diesel aveva cercato, soprattutto, un modo per limitare le perdite di calore cercando di controllare la temperatura massima tramite l'introduzione graduale del combustibile nella camera di scoppio ed abbassando la temperatura dei gas di scarico: in questo motore, funzionante a ciclo Otto, il combustibile si incendiava allorché veniva in contatto con l'aria compressa dentro la camera di combustione. L'utilizzo di questo nuovo sistema fu, all'inizio, limitato a macchine pesanti e fisse.

Un altro capitolo importante nella storia delle macchine a combustione interna lo scrisse Gottlieb Daimler che nel 1883 presentò un motore a benzina; la caratteristica, che lo differenziava dalle altre macchine, era, oltre al combustibile, l'alto numero di giri che fino ad allora era stato, al massimo, di qualche centinaio. Per questo motore, funzionante anch'esso a ciclo Otto, Daimler ideò un prototipo di carburatore che sfruttava la proprietà della benzina di evaporare a basse temperature. Il motore era, inoltre, provvisto di due valvole, una d'entrata ed una d'uscita, comandate meccanicamente dall'albero motore.

9.4 Sviluppo dell'opera di P. Barsanti e Matteucci

Fra coloro che aiutarono l'opera di P. Barsanti e Matteucci devono essere ricordati P. Antonelli, P. Cecchi e G. B. Babacci: il loro apporto, come si è già fatto notare in altre occasioni, non fu certamente trascurabile, e dopo la morte di P. Barsanti essi cercarono, anche se non con molto successo, di proseguire lo sviluppo del motore a scoppio.

Nel 1858 i PP. Antonelli e Cecchi scrissero, come già ricordato, un memoriale relativo al motore a stantuffi concorrenti: in tale memoriale essi attribuivano a P. Barsanti e Matteucci l'idea di costruire una macchina con due cilindri contrapposti e

funzionanti in sincronismo per poter neutralizzare gli effetti dinamici dell'esplosione, ovvero i contraccolpi, mentre assegnavano a Babacci l'intuizione di mettere in comunicazione le camere di combustione dei due cilindri tramite un canale in cui far avvenire lo scoppio della scintilla, in modo da rendere così simultanea l'accensione delle due cariche. Inoltre nel memoriale è anche suggerita da parte di P. F. Cecchi l'idea di unificare le camere di scoppio.

Quindi possiamo dire che la realizzazione del motore a scoppio fu frutto anzitutto di un'idea di P. Barsanti, realizzata insieme al Matteucci, integrata da una collaborazione, fatta di reciproci scambi di vedute, con vari studiosi; comunque i vari suggerimenti, pur costituendo senz'altro un merito per i loro autori, non tolsero, anzi aumentarono, l'importanza del lavoro del Padre Scolopi e dell'ingegnere lucchese.

L'idea di sfruttare gli stantuffi concorrenti fu al centro dell'attenzione di P. Barsanti e Matteucci, oltre che, naturalmente, dei loro collaboratori, negli anni che vanno dal 1857 al 1861; a tale idea fu associato prima il sistema ad azione differita (motori del 1858) e, successivamente, quello ad azione diretta (motore del 1861). Il memoriale dei PP. Antonelli e Cecchi non stabilisce se la soluzione ad azione diretta sia stata pensata fin dall'inizio oppure si sia resa conveniente all'atto della costruzione: quest'ultima ipotesi è da ritenersi la più valida sia per la mancanza di indicazioni contrarie sia per un'attestazione del Besso. Un sistema ad azione diretta avrebbe permesso di non avere un motore a due alberi, come invece, in linea di massima, sarebbe stato richiesto dal motore ad azione differita. Pertanto se il motore a stantuffi concorrenti era stato ideato pensando ad un sistema ad azione differita, la pratica costruttiva deve aver sconsigliato tale strada, portando, nel 1861, alla costruzione di un motore ad azione diretta, meccanicamente migliore, ma meno felice in fatto di rendimento.

Il memoriale dei due Padri Scolopi affronta anche il problema della trazione a motore di cui già P. Barsanti e Matteucci si erano interessati; nel testo troviamo la seguente affermazione ^[17]: *"Si è reso per conseguenza evidente, che la macchina sul vecchio sistema sarebbe del tutto inapplicabile come macchina motrice sì da terra che di mare, per le violentissime scosse sugli appoggi dei cilindri (cioè sulle locomotive e sulle navi); i quali appoggi avrebbero dovuto sostenere fino ad oltre settemila urti per ogni ora, ciascuno dei quali corrispondente ad una forza di molte atmosfere, sopra una superficie ben grande, trattandosi di macchine che debbono sviluppare una potenza considerabile"*. Non conoscendo le caratteristiche dell'apparecchio al quale si riferiva P. Cecchi, sembrerebbe eccessivo per un motore a

stantuffo libero il numero di colpi ricordato, come si rileva anche dalle esperienze compiute da Meidenger sul motore Otto e Langen; forse ci si voleva riferire al numero di urti che avrebbero dato i due cilindri riuniti nel motore a stantuffi concorrenti. Come si vede l'importanza di un equilibrio meccanico, quale si ha nella struttura a stantuffi concorrenti, viene esaltata soprattutto nel caso della navigazione.

L'idea di applicare la nuova invenzione alle locomotive la troviamo espressa anche nel primo brevetto francese del 9 gennaio 1858; infatti in esso P. Barsanti e Matteucci scrivevano: *"S'il agit d'appliquer cette nouvelle force à une locomotive alors notre machine devant remplacer deux cylindres à double effet il faut en employer quatre sur deux couples de roues motrices conjuguées. Les arbres de couche communiquent le mouvement aux essieux des roues motrices, au moyen de bielles ou d'engrenages combinés de manière à changer la direction du mouvement en employant des manchons d'embrayement et desembrayement"*. Vi è poi un accenno al serbatoio di combustibile in pressione da disporsi sul tender ed al modo di alimentazione del motore. Dalle frasi appena citate vediamo come i due inventori non erano contrari, anche se in relazione al problema della trazione su locomotiva, al motore ad azione diretta.

Se le parole di P. Barsanti e Matteucci vollero essere un suggerimento ad un possibile impiego della loro invenzione, in quanto i loro motori erano di piccola potenza e potevano essere applicati solo ad un carrello di modesto peso e su tratti piani, quelle dei PP. Antonelli e Cecchi erano mirate ad un perfezionamento del loro lavoro con riferimento alla trazione a motore. Infatti esistono numerosi disegni, opera dei due Padri Scolopi e dei quali, purtroppo, non conosciamo la data di elaborazione, riguardanti la costruzione di locomotive a motore; essi comprendono anche una serie di variazioni da apportare al motore ad azione differita ideato da P. Barsanti e Matteucci. Tuttavia il problema della trazione a motore non era certamente stato risolto in quanto mancavano, nei suggerimenti, alcuni elementi fondamentali per una locomotiva a motore: ci riferiamo alla mancanza delle necessarie concentrazioni di potenza ed alla mancanza di indicazioni sull'applicazione di una trasmissione a rapporto variabile.

A tentare di risolvere il problema della concentrazione di potenza, sfruttando un'idea di P. Barsanti e Matteucci, fu Bargagli ^[3]. Infatti egli riprese la seconda delle proposte che si trovano nella Memoria dei Georgofili del 1853, consistente nel far agire lo stantuffo libero come stantuffo compressore, raccogliendo il fluido in pressione in un serbatoio destinato ad alimentare una motrice ad aria compressa; tale

idea non venne sperimentata dai due inventori perché, come dichiararono nella Memoria, non avevano avuto il mezzo per poter compiere gli esperimenti. Tuttavia questa soluzione non venne completamente abbandonata in quanto la troviamo al secondo posto fra quelle riportate nel brevetto inglese del 1854.

Sul motore di Bargagli esiste un documento dell'inventore stesso, datato 25 agosto 1865 ed affidato all'Accademia dei Georgofili, nel quale sono riassunti i risultati delle esperienze effettuate. In questa memoria, intitolata *"Ricerche e studi sopra un nuovo motore"* l'autore scrisse, riguardo ai propri studi, che essi durarono *"non pochi anni"* rendendo verosimile l'ipotesi che il suo lavoro fosse frutto di una sua idea; tuttavia si può pensare che fosse a conoscenza dell'opera di P. Barsanti e Matteucci in quanto concluse il documento con questa affermazione ^[9]: *"non mi presento come uno scopritore di cosa nuova. Le macchine a gas, ad aria compressa, ad aria calda esistono, e questo mio Lavoro comunque siasi, non può considerarsi che un risultato di una associazione di idee e di differenti sistemi, riuniti e coordinati in uno solo"*. Pur rimanendo il dubbio sull'originalità dell'opera di Bargagli, la priorità dell'idea spetta sempre a P. Barsanti e Matteucci, mentre il merito del Bargagli medesimo fu la realizzazione pratica. Un altro merito, che egli condivise con i due inventori e con i PP. Antonelli e Cecchi, fu quello di aver creduto nella vastità delle possibili applicazioni alle quali la nuova macchina era adatta, ad esempio alla trazione su rotaia; infatti nella parte introduttiva della memoria abbiamo un passo ^[9] che richiama *"le più utili applicazioni alla Marina, alla Ferrovia, alla nostra Agricoltura ed a tutte le Industrie alle quali è stato applicato il Vapore"*.

Dal documento vediamo che l'autore aveva pensato anche all'eventualità di recuperare il calore perduto dal fluido in pressione, onde aumentare il rendimento complessivo del processo.

Nella memoria troviamo un passo in cui sono esposti due modi secondo i quali può realizzarsi il funzionamento di una motrice ad aria compressa: il primo consiste in una semplice compressione dell'aria riducendo, così, il funzionamento ad aria compressa ad un'utilizzazione d'energia precedentemente accumulata; il secondo metodo prevede una compressione seguita da un riscaldamento che aumenti la quantità di lavoro ricavabile nell'espansione.

Comunque, nonostante l'accurata realizzazione, la macchina mostrò un rendimento inferiore rispetto al motore a stantuffo libero e, probabilmente, anche a quello ad azione diretta ed espansione prolungata; inoltre essa rappresentò un passo indietro nel cammino della ricerca di una razionale utilizzazione dell'energia dei gas

combustibili: infatti le espansioni dovettero essere limitate ed il bilancio di energia reso ancora più negativo dalla trasformazione intermedia.

Possiamo infine ricordare che nel 1865 Matteucci e Babacci studiarono un nuovo tipo di motore igneo-pneumatico a doppio effetto.

Capitolo 10

I brevetti conseguiti e la Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci

Con il progredire degli studi sul motore, P. Barsanti e Matteucci decisero di proteggere la priorità delle loro scoperte e il possibile sfruttamento commerciale munendosi di brevetti. La richiesta dei brevetti fu avanzata soprattutto grazie alle insistenze di Matteucci, uomo dotato di spirito più pratico. I due inventori decisero anche la costituzione di una Società che gestisse la commercializzazione del loro motore.

Vengono esaminati qui di seguito questi due aspetti, non strettamente scientifici, della storia dell'invenzione.

10.1 I brevetti

Il primo brevetto ottenuto fu quello inglese ^[34, 35, 36, 37], concesso in data 13 maggio 1854 e recante il numero 1072, con il seguente titolo "A New or Improved Mode of Applying the Explosion of Gases as a Motive Power", a sbrigare le opportune trattative con il governo inglese per la sua concessione fu Guglielmo Haehner, console in Livorno della Sassonia e del Wurtemberg ed anche capo di una grossa casa commerciale. Le trattative non furono facili in quanto Haehner venne a sapere che in Inghilterra erano state concesse parecchie patenti di invenzione per il medesimo fine, cioè quello di adoperare una miscela di gas detonante come forza motrice, anche se nessuna aveva mai avuto una realizzazione pratica non essendosi trovato il modo di regolare la forza prodotta; questo è quanto possiamo ricavare dalla lettera (let. n°16) scritta dal console a P. Barsanti e Matteucci in data 2 aprile 1854 da Londra.

Successivamente Haehner scrisse un'altra lettera a P. Barsanti in cui proponeva di cambiare il titolo dell'invenzione dal momento che molti si erano già occupati dello stesso argomento: egli suggerì di chiedere il brevetto non per una invenzione nuova ma per un miglioramento di una vecchia.

La risposta del Padre Scolopio si ha nella lettera (let. n°17) del 28 aprile 1854. Da questa lettera possiamo notare la ferma convinzione dei due inventori di aver realizzato per primi quanto proponevano; vi si scrive, infatti, che essi non hanno inventato la forza esplosiva ma solo il modo di impiegarla utilmente, cosa non riuscita ai loro predecessori: l'originalità dell'invenzione non consisteva nell'idea di sfruttare l'energia posseduta dalla miscela detonante, ma nel modo pratico, ovvero nel complesso di accorgimenti e di meccanismi, per rendere attuabile tale idea. Partendo da questi presupposti i due inventori insistettero nel chiedere il brevetto riuscendo ad ottenerlo il mese successivo.

Durante il suo soggiorno in Inghilterra Haehner mostrò i disegni del motore all'ingegner May, persona molto stimata e conosciuta a quel tempo, per avere un parere su una possibile realizzazione ed una utilizzazione pratica della nuova macchina. Il giudizio espresso da May è contenuto nella lettera (let. n°18) di Haehner a P. Barsanti e Matteucci datata 31 agosto 1854. Dalla lettera si vede che il parere di May ^[27] fu negativo sia in merito alla realizzazione pratica sia in merito al suo possibile utilizzo, tanto da sconsigliare chiunque dal fare su di essa degli investimenti. Purtroppo egli aveva visto solo i disegni del motore e non aveva a disposizione una macchina su cui fare delle prove per poter esprimere un giudizio più corretto. Inoltre bisogna aggiungere che a quel tempo la possibilità di utilizzare le esplosioni a scopi propulsivi era generalmente considerata con scetticismo; infatti tutti i tentativi compiuti fino ad allora erano falliti poiché non si riusciva a regolare la forza che l'esplosione sprigionava in modo violento e discontinuo: il May, dunque, confermò solamente lo scetticismo degli ambienti tecnici più qualificati dell'epoca. Comunque i due inventori, forti dei risultati ottenuti, non tennero in grande considerazione questo giudizio e proseguirono i loro studi. Il parere negativo espresso dal May costituisce, sotto certi aspetti, un'importante riprova della novità dell'invenzione.

Nella lettera (let. n°14) di Haehner a Matteucci datata 26 giugno 1854 abbiamo la conferma che il brevetto era stato accettato conformemente alla loro richiesta.

Il motore descritto nel brevetto inglese è a due cilindri identici, verticali e interdipendenti: l'applicazione delle idee lì esposte si ebbe nel motore costruito nel 1856, che funzionò presso le Officine della Ferrovia Maria Antonia di Firenze.

Dalla relazione allegata alla domanda di brevetto si vede che, riguardo al modo di trasformare le esplosioni in un moto continuo, il sistema posto al quarto posto nella Memoria dei Georgofili appena un anno prima viene adesso considerato come il

migliore; al secondo posto, così come lo era nel documento prima citato, ritroviamo l'idea di comprimere l'aria per farla poi diventare il fluido motore di una macchina ad aria compressa; infine vi si trova una proposta per la costruzione di un motore ad azione diretta per navi spinte da sistemi di pale agenti solo durante la corsa attiva dei due cilindri.

Il 9 gennaio 1858 abbiamo il primo brevetto francese nel quale viene descritto un motore con alcuni perfezionamenti rispetto a quello brevettato in Inghilterra. Infatti nel brevetto francese vengono descritti due differenti tipi di motore: uno che fa uso dello stantuffo ausiliario ed un altro con solo quello principale. Il primo tipo fu adottato nel motore del 1863, che valse ai due inventori un premio da parte del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Arti e Mestieri. Il secondo aveva una costruzione più semplice e permetteva di procedere con maggiore frequenza all'introduzione della miscela detonante ed allo scarico dei prodotti della combustione. Mentre nel primo sistema era lo stantuffo ausiliario a introdurre la miscela esplosiva e a provvedere all'espulsione dei gas combusti, nel secondo sistema è lo stesso stantuffo principale che percorrendo il cilindro per tutta la sua lunghezza compie l'aspirazione della miscela nella corsa retrograda e l'espulsione dei prodotti della combustione al termine della corsa attiva: queste fasi vengono comandate da un apposito cassetto in modo che l'accensione della miscela, ottenuta con scintille elettriche, avvenga quando sono chiusi i canali di entrata dell'aria e del gas, e lo stantuffo ha iniziato la corsa retrograda lasciando il collegamento con l'albero motore. La descrizione dettagliata di questi due sistemi è già stata fatta nel quarto capitolo dove le figure 12 e 13 mostrano alcuni disegni dei due sistemi di costruzione tratti dal brevetto francese.

Un altro brevetto fu conseguito a nome Barsanti-Matteucci-Babacci nel 1861; in esso troviamo per la prima volta menzionati il raffreddamento ad acqua del motore ed il sistema ad albero a gomiti: quest'ultimo particolare ci fa supporre che il motore fosse ad azione diretta. Viene, inoltre, menzionato il fatto che, al fine di evitare colpi troppo bruschi, si era pensato di chiudere il cilindro all'estremità in modo da creare un cuscinetto di aria: attraverso alcuni fori si aveva, poi, il lento defluire dell'aria e la successiva reimmissione. Gli inventori erano quindi passati dal motore ad azione differita a quello ad azione diretta, ma ben presto ritornarono alla prima soluzione in quanto, sebbene avessero ottenuto qualche risultato soddisfacente, il rendimento termico era risultato troppo basso.

Nel brevetto conseguito in Italia nel 1858 abbiamo la descrizione del motore a stantuffi concorrenti con le camere di scoppio comunicanti: tale soluzione la vediamo applicata nei motori del 1858 e del 1861. La figura 14 al capitolo 4 mostra il disegno di questo motore.

Altre informazioni sui brevetti conseguiti si trovano nella lettera, datata 31 maggio 1864, che il Signor Paolini, segretario della Soc. An. del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci, inviò da Firenze a P. Barsanti a Searing. Infatti in essa troviamo elencati, su richiesta del Padre Scolopio, i brevetti conferiti dagli inventori alla Società: il primo citato è il brevetto inglese del 12 giugno 1857 (recante il numero 1655), poi quello piemontese del 31 dicembre 1857, quello francese del 9 gennaio 1858 (in Francia il "*brevet d'invention*" recante il numero 35009 fu concesso il 20 febbraio 1858). Come vediamo non è citato il primo brevetto inglese del 1854; inoltre esso non viene citato neppure nella lettera (let. n°19), datata 8 novembre 1861, che Matteucci inviò all'Amministrazione della Società per fornire gli schiarimenti richiestigli sui brevetti conseguiti.

L'esistenza del brevetto inglese del 1854 è indiscutibile dato che di esso esiste una copia fotografica presso l'archivio dell'Osservatorio Ximeniano. Inoltre una prova indiretta della sua esistenza ci viene dalla lettera (let. n°14) che G. Haehner inviò a Matteucci in data 26 giugno 1854 da Livorno; in essa si dice che "*il loro brevetto è pubblicato a Londra come lo prova il Morning Journal che io ho ricevuto*": questo concorda con la data (13 maggio 1854) di tale brevetto.

La ragione per cui il primo brevetto inglese non è citato può essere che, per cause che non conosciamo, i due inventori, dopo averlo conseguito, lo lasciarono decadere nei suoi effetti tutori della proprietà intellettuale probabilmente per il mancato pagamento delle successive rate, a causa forse di una imperfetta conoscenza della legislazione inglese sui brevetti. Avvenuta tale decadenza, P. Barsanti e Matteucci, per non rendere nulli, di diritto e di fatto, eventuali successivi brevetti che avrebbero potuto richiedere in seguito ai perfezionamenti che apportavano alla loro invenzione, i cui principi fondamentali rimanevano comunque invariati, decisero di far cadere nell'oblio quel primo brevetto non lasciandone traccia né verbale né scritta. Ad avvalorare questa tesi vi è una lettera che il Signor Newton dell'ufficio brevetti di Londra scrisse a P. Barsanti in data 29 maggio 1857 per comunicare l'avvenuto ricevimento della descrizione per un nuovo brevetto, il secondo brevetto inglese; a riprova che la prima domanda era stata lasciata decadere ed il menzionarla avrebbe reso nullo il valore della successiva richiesta, in tale lettera si legge: "*Nous vous*

conseillerions de ne rien dire de votre première demande puisque cela pourrait vous compromettre, et ne saurait vous rendre service".

Anche nel brevetto Barsanti-Matteucci-Babacci, chiesto nel 1861, troviamo citato, all'inizio della domanda (let. n°20), il brevetto inglese del 1857, mentre non è fatta menzione dell'altro.

Altra conferma del fatto che il brevetto del 1854 era stato dimenticato si ha nella lettera (let. n°21), datata 22 maggio 1860, del Signor Bonneville dell'Agenzia parigina Bonneville, in cui si parla del pagamento della terza rata annuale del brevetto conseguito il 12 giugno 1857.

I brevetti italiani furono diversi e vennero presi in vari stati: il primo brevetto fu preso nel Granducato di Toscana il 15 Maggio 1854, due giorni dopo aver conseguito quello inglese; un altro fu ottenuto in Piemonte il 31 dicembre 1857, e reca il numero 579 del volume VI; il terzo, ottenuto ancora in Piemonte, è del 2 gennaio 1858, e reca il numero 700 del volume VII; un quarto è infine del 26 luglio 1858, e reca il numero 1257 del volume XIV.

Un brevetto belga si ebbe il 10 febbraio 1858 ed uno successivo, di perfezionamento, il 12 febbraio 1858. Un secondo brevetto francese fu conseguito il 4 febbraio 1859.

Nel 1861, per mezzo dell'Agenzia torinese Capuccio e Latini, erano stati presi, come si rivela dalla lettera (let. n°20) datata 8 novembre 1861, altri brevetti nelle città di Milano, Bologna, Parma e Modena.

Nel 1866, dopo la morte di P. Barsanti, Matteucci conseguì un brevetto a suo nome per un motore a doppio effetto. Il 15 aprile 1868 venne rilasciata a G. B. Babacci la privativa italiana n. 3849 per alcuni nuovi perfezionamenti apportati al motore originale di P. Barsanti e Matteucci.

Sappiamo che un viaggiatore volterrano di alabastri, Ottaviano Gori, che aveva più volte assistito agli esperimenti dei due inventori, si era offerto di far brevettare l'invenzione in America: dopo un primo momento in cui tale offerta era stata accettata non ne venne fatto più niente, non sappiamo per quale motivo.

10.2 La Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci

I notevoli successi ed apprezzamenti ricevuti indussero i due inventori a formare nel 1860 una società ^[38, 39] per lo sfruttamento commerciale della loro invenzione:

essa prese il nome di Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci ed il suo statuto divenne operativo con rescritto del 19 ottobre 1860, rilasciato da S. A. R. il Principe di Carignano, allora luogotenente del Re Vittorio Emanuele nelle Provincie Toscane. La società, appena costituita, esaurì in breve tempo le azioni emesse. Presidente della società fu il Conte Zucchini mentre vice Presidente fu il Marchese Lottaringo Della Stufa; direttori tecnici furono nominati i due inventori.

La Società, appena formata, decise la costruzione di un nuovo motore: questo fu ordinato alle Officine Escher Wyss e Co. di Zurigo e fu poi esposto nei locali della Società ottenendo un grande successo (è il motore del 1861).

Matteucci conservò la carica di direttore tecnico fino al 1862, anno in cui un esaurimento nervoso lo costrinse a dimettersi; a capo della direzione tecnica rimase allora solo P. Barsanti. Dopo la morte del Padre Scolopio vennero eletti direttori tecnici i PP. Antonelli e Cecchi, malgrado che molti preferissero un riaffidamento dell'incarico a Matteucci, che nel frattempo si era ristabilito dalla malattia; l'elezione avvenne nell'adunanza del 2 giugno 1864.

I PP. Antonelli e Cecchi si ripromettevano di introdurre delle modifiche nelle invenzioni di P. Barsanti e Matteucci secondo proprie vedute personali. Nel 1864 e 1865 fecero molte prove ed intrapresero trattative con varie officine per la costruzione di un nuovo motore; essi ebbero, prima, contatti a Livorno e Bologna, per decidere, poi, di far fare i pezzi di getto alla Fonderia Benini del Pignone e quelli di precisione agli Ansaldo di Sampierdarena: i lavori furono iniziati ma vennero interrotti quasi subito in quanto si erano creati dei dissidi fra la società ed i due Padri Scolopi, i quali, in breve tempo, dettero le dimissioni da direttori tecnici.

Nonostante i PP. Antonelli e Cecchi fossero degli ottimi uomini di scienza, essi non avevano le necessarie cognizioni di meccanica applicata e non riuscirono, quindi, ad apportare con i loro studi un vero e proprio miglioramento: come conseguenza si ebbe lo scioglimento della società fra la fine del 1867 e l'inizio del 1868.

Del fatto che i due Padri Scolopi non fossero i più adatti a continuare il lavoro di P. Barsanti e Matteucci ne erano convinti in molti; per essi basti citare le parole che l'ispettore delle officine delle "Strade Ferrate Livornesi" ebbe a scrivere in una sua lettera datata 10 agosto 1865: *"Sono convinto che l'avvenire di questa invenzione non è nelle mani dei padri suddetti, i quali non hanno pratica meccanica sufficiente: detta invenzione potrà avere qualche utile risultato qualora venisse trattata da un uomo veramente pratico di meccanica"*.

Dopo la morte di P. Barsanti, Matteucci, ormai escluso dalla direzione tecnica della società, continuò in proprio gli studi per apportare miglioramenti pratici al motore al fine di renderlo idoneo soprattutto all'applicazione sulle locomotive. Nella lettera del 15 gennaio 1866 (let. n°22), diretta al Presidente della Società, Matteucci chiese di poter apportare, a proprie spese, alcune modifiche ai motori che avrebbero permesso notevoli migliorie; la lettera, purtroppo, ebbe una risposta tarda ed evasiva in data 10 marzo 1866 da parte del Vicepresidente Marchese L. Della Stufa che non dette modo di poter realizzare quei miglioramenti: infatti fu risposto al Matteucci che la sua proposta sarebbe stata discussa nella prossima assemblea generale. La proposta non venne invece esaminata. In definitiva, la Società, pochi anni dopo la scomparsa di P. Barsanti, ormai priva di validi direttori tecnici, venne sciolta.



A.D. 1854 N° 1072.

Obtaining Motive Power by the Explosion of Gases.

(This Invention did not precede to the Great Seal.)

PROVISIONAL SPECIFICATION left by Eugene Barsanti, and Felix Matteucci at the Office of the Commissioners of Patents, with their Petition, on the 13th May 1854.

We, **EUGENE BARSAITI**, Professor of Physics and Mathematics in the
5 Institut Napoléon, and **FELIX MATTEUCCI**, Gentleman, of Florence, in the
Grand Duchy of Tuscany, do hereby declare the nature of the said Invention
for "A New and Improved Means of Applying the Expansion of Gases as a Motive
Power" to be as follows:—

For this purpose it is preferred to use two cylinders, with pistons and parts
10 arranged in such manner that the piston in one cylinder may be moving in one
direction when the piston in the other cylinder is moving in the opposite
direction, though engines according to this Invention may be arranged to
work with one or other number of cylinders. The requisite explosive com-
15 pound of gases is obtained by combining hydrogen gas and atmospheric air,
the working of the engine. Each of the cylinders used in constructing
engines according to this Invention has at its lower end two openings, which
are connected by an outer passage; the one opening when the piston is at its
20 lowest position communicates with the interior of the cylinder above the
piston, and the other opening communicates with the cylinder below the piston,
and the cylinder above the piston is open to the atmosphere; hence there is a
free passage between the atmosphere and the under side of the piston when
the piston is at its lowest position. From which it follows, that when one

A.D. 1854.—N° 1072.

Provisional
Specification.

Process of Matteucci's Improvements in Obtaining Motive Power.

piston is pushed forward through the passage by the last stroke of the return-
ing course of the other, by means of the arrangement which connects them,
the quantity of atmospheric air requisite for the charge reaches in, and through
his same passage the azote is expelled when the piston reaches the bottom of
the cylinder. There is besides a third opening in the part designed to receive
the charge, communicating with an apparatus abundantly supplied with
hydrogen, this opening being closed and opened at suitable intervals by the
movement of the machine, in consequence of which the hydrogen can be
admitted in due proportion after the air, as the piston ascends. This move-
ment produces an electric spark in the interior of the machine, which
ignites the mixed gases so soon as the communication is cut off. This appa-
ratus consists of two receivers, so that in one of these the gas is in a state of
tension, and the other communicates directly with the cylinders, the degree of
tension being adjusted so as to vary the proportion of the charge, and conse-
quently the force of the explosion.

It results from this arrangement of the parts, that when explosion takes
place in one of the cylinders the piston belonging to it is thrust forward and
the vacuum thus produced, pressure of the atmosphere forces it back, and
when it arrives at the extremity of its returning course explosion takes place
in the other cylinder, and thus the pistons move alternately. There are three
distinct modes of applying this power, viz. —

1. The rods of the pistons are so formed that the effect occurs only in the
course of their return, and consequently that effect is the result of atmospheric
pressure. 2. The cylinders are closed in the upper part by a lid provided with
valves, and a conducting tube, so arranged as to make the machine work as a
pump of pressure, which condenses the atmospheric air in a receiver, from
which the air is transmitted to one or two moving cylinders, constructed on the
same principle as those of the steam engine. 3. The third manner, which is
most adapted to navigation, consists in connecting to the rods of the piston a
system of pulleys, so disposed as to move the resistance of the water in ascend-
ing. These pulleys are movable, so as not to occasion obstruction in the
returning movement of the piston. In this manner the expansive force of
gas may be employed to act directly.

LONDON:
Printed by GEORGE BARR, at the QUEEN'S BENCH, Stationers' Alley, 1854.

Appendice A

Si riportano alcune viste tridimensionali del motore Barsanti e Matteucci del tipo a stantuffo ausiliario ottenute interpretando i disegni di tale motore relativi alla richiesta del brevetto francese del 1858.

Fra i vari tipi di motore ideati e sperimentati da P. Barsanti e Matteucci, il motore a stantuffo ausiliario è abbastanza importante: fu il motore premiato dal Reale Istituto Lombardo di Lettere, Scienze ed Arti; fu il motore che P. Barsanti portò con sé nel suo viaggio alle Officine Cockerill in Belgio per avviarne una produzione di serie.

L'elaborazione grafica è stata ottenuta presso l'Istituto di Elaborazione della Informazione, CNR, Pisa, dal signor Guido Gagliardi, utilizzando un sistema Autocad 12.

Fig. 1A - Motore Barsanti e Matteucci con stantuffo ausiliario (Brevetto Francese, 1858)

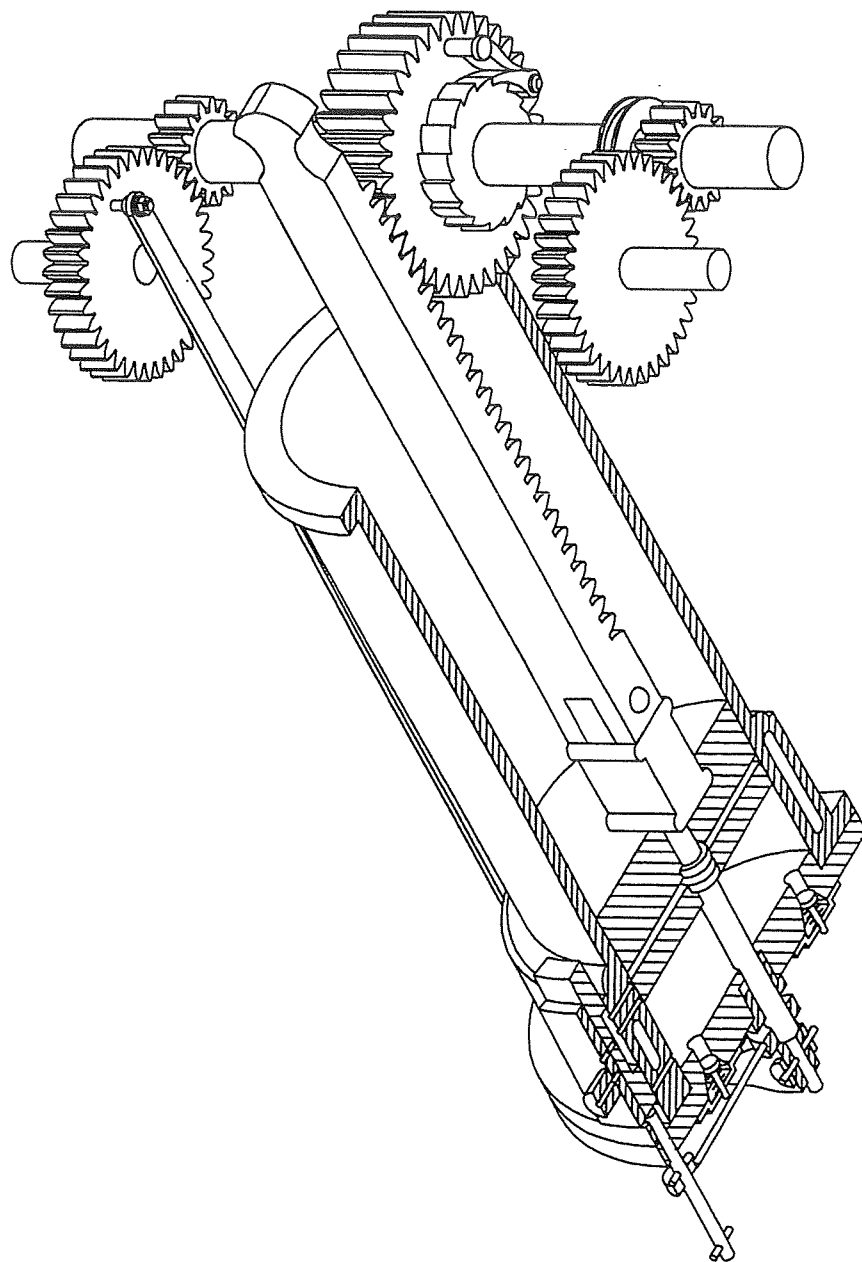
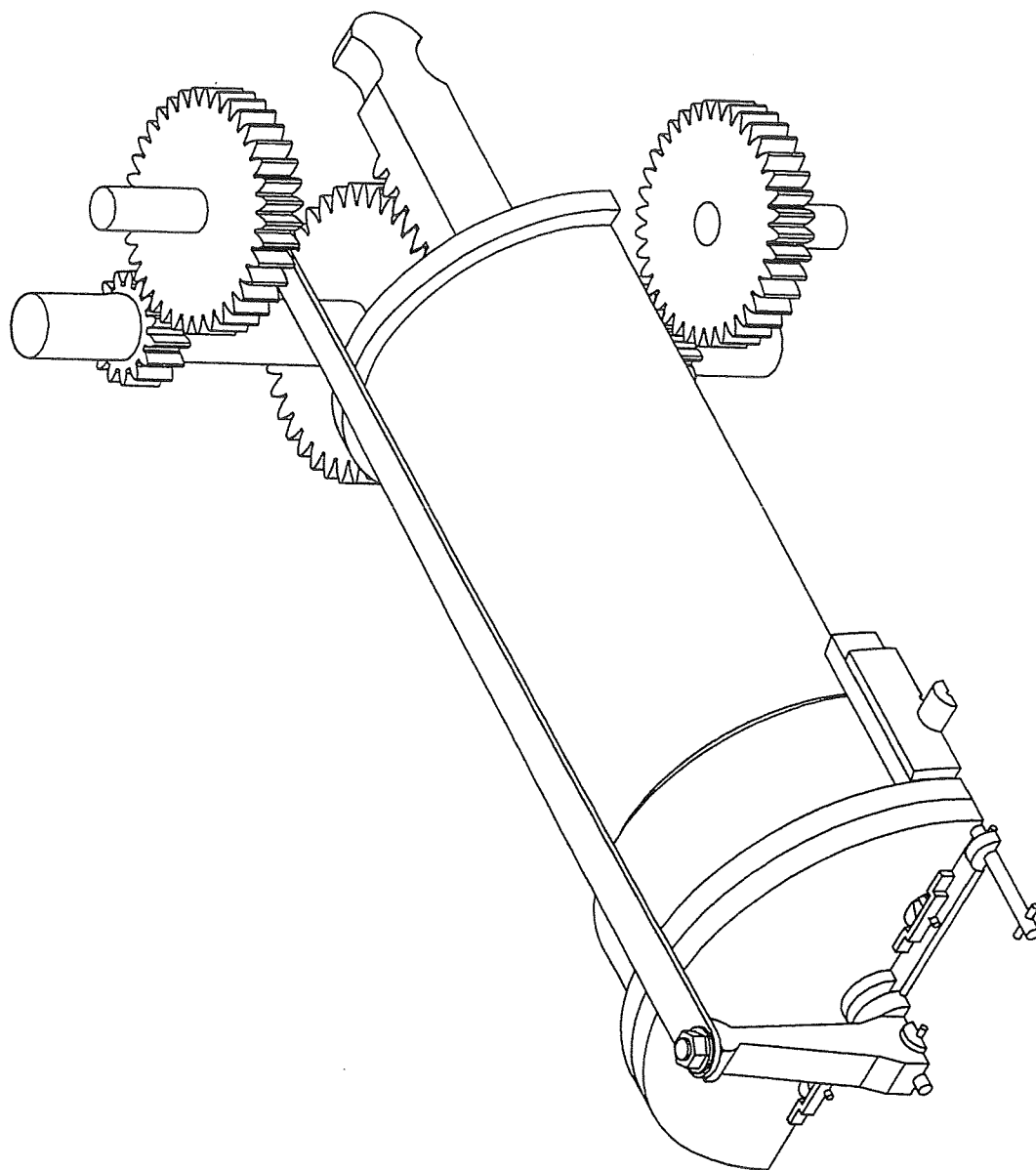


Fig. 2A - Motore Barsanti e Matteucci con stantuffo ausiliario (Brevetto francese, 1858



Appendice B

lettera n° 1

Ill.mo Signore

Sono con la presente ad annunziarle che la Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci ha pienamente accettate le condizioni espresse nella lettera di V. S. Ill.ma del 17 dicembre 1862, nella quale renunzia ai diritti accordati dallo Statuto Sociale del 13 ottobre 1860 agli Inventori, come risulta dall'Atto Verbale dell'adunanza generale del 18 dello stesso mese.

Le dichiaro pertanto a nome della Società tutta che V. S. Ill.ma ha lodevolmente corrisposto agli obblighi assunti verso la medesima e che Ella ha preso parte al concepimento di tutte le macchine costruite per conto della Società fino al giorno della sua renunzia, che il titolo della Società Anonima non sarà cambiato, che la Società non ha da ripetere cosa alcuna da Lei per qualsivoglia titolo. In seguito delle quali dichiarazioni Le verranno consegnate tutte le azioni che le spettano a tutto il di 18 dicembre 1862 a forma dello Statuto Sociale, comprese quelle che avrebbero dovuto rimanere attaccate alla matrice.

Nell'atto di tale consegna V. S. Ill.ma si compiacerà firmare la Ricevuta della quale Le rimetto copia e dove sono ripetute le espressioni della di Lei lettera del 17 dicembre 1862.

Mi valgo di questa occasione per offrire a V. S. Ill.ma le proteste della mia particolare stima e del mio distinto ossequio.

Firenze li 20 gennaio 1863

Il Vice-Presidente
L. Della Stufa

Ill.mo Sig. Felice Matteucci
Firenze

lettera n° 2

Amico carissimo

Eccomi al solito ridotto all'ultimo istante. Clemente mi aspetta per partire, altre faccende mi pressano - ciò non pertanto voglio scriverti un verso per sgombrare qualche dubbio importuno che ho potuto rilevare dalla lettera della sig. Giulia riguardo alla famosa biacca.

Se quella ottenuta col carbonato di potassa corrisponde in tutto e per tutto alle condizioni volute, se rassomiglia identicamente a quella di Francia parmi che sia da preferirsi anche per

le ragioni di risparmio di combustibile, tanto più che tal carbonato può farsi con pochissima spesa secondo il processo, che accennai alla sig. Giulia in quel giorno, in cui ebbe la maggior prova della forza del Gaz: come pure descrissi il processo più semplice per far la potassa caustica a buon mercato di modo che adesso mi parebbe che la biacca ottenuta con queste sostanze per precipitazione darebbe sempre un profitto al certo superiore dell'Acido e dello Zingo.

Secondo i prezzi correnti nella settimana decorsa a Livorno il bianco di zingo oscillava tra le 50 e le 60 lire toscane.

Basta, mancandomi il tempo di proseguire, finisco raccomandandoti di esaminare a mente quieta senza alcuna preoccupazione il pensiero di Clemente che parmi ben concepito per semplicità e sicurezza di effetto.

Quando puoi - grida il Casali che del mio libretto non ha stampato fino a qui nemmeno l'annunzio bibliografico che mandai - mentre ha empito ogni giorno il *Monitore* di ciarlatanerie solite e insolite non che di programmi retrogradi non escluso quello del celebre *Araldo!*

Scusa la fretta, ricevi scudi 40 da Luigi e scudi 30 da Angelo con la lettera che per questo mi accluse la signora Giulia e che ieri non trovai nessuno che la portasse. Tante cose alla sig. Angiola, alla sig. Nina⁴¹ e alla sig. Giuliana, che ringrazierai tanto della pronta e gentile risposta.

Un saluto alla Norina, un bacio ad ognuno dei cari bambini, un abbraccio
tuo Barsanti

2 del 54

Per il Sig. Felice Matteucci - S. P. M.

lettera n° 3

Carissimo amico

Sono contento di quello che hai fatto, convengo anch'io che l'antico sifone e l'antica forcilla sieno gli organi i meglio adatti al nuovo sistema. Mi pare per altro che la forcilla potesse essere come una leva di secondo genere senza il bisogno di assegnarle un'eccessiva lunghezza; giacché il maschio della coluisse mosso da essa potrebbe avere benissimo un moto uguale alla metà di quello del pistone e quindi la lunghezza della leva sarebbe poco più del diametro del cilindro. Vedo in embrione che potrebbe farsi anche a meno della forcilla ma il tempo è ristretto e quindi bisogna contentarsi di ciò che abbiamo studiato al presente.

Siccome non può pretendersi che Newton si rechi a fare la debita dichiarazione al governo inglese il giorno stesso che riceverà il nostro avviso, è necessario che tu gli scriva immediatamente che noi intendiamo procedere e che quanto prima gli manderemo in una

⁴¹ La Signora Angiola è la madre e la Signora Nina è la sorella.

descrizione il disegno. Conviene anche affrettarsi a raccogliere i mezzi necessari per supplire alle spese imminenti, le quali non saranno poche. Di ciò intenditi con Brogini.

Riguardo al progetto Bottai per ora non vorrei impegnarmi a nulla e mi parrebbe che prima fosse conveniente adunare i nostri soci ed in tutti i modi vorrei esser prima tornato a Firenze. Quando sia per succedere questo ritorno non lo so ancora, ma spero che non debba protrarsi al di là di una settimana. Presentemente siamo alla Badia a Prataglia luogo di gran caccia. Il Simoni si è piccato di farmi ammazzare la lepre, per ora non v'è riuscito sebbene due volte che siamo andati a cacciare i cani abbiano scovato branchi di lepri. Ho veduto i genitori di Cito, il padre è un cane spagnuolo di una bravura incredibile, la madre è una cagna inglese parimenti bravissima; questa il giorno del nostro arrivo fu morsa da una vipera, ma non è morta e spero salvarla. Ho piacere che la Nina vada sempre migliorando e vorrei che il tempo migliorasse in maniera da non rallentare il suo ristabilimento e da permetterle di andare a respirare l'aria balsamica delle colline di Vorno. Di tante cose a Lei e sua Madre per me.

Addio e credimi sempre

tuo aff.mo amico E. Barsanti

Dalla Badia a Prataglia, li 30 sett. 1857

lettera n° 4

Carissimo Matteucci

Ho ricevuto le tue due desideratissime: riguardo alla prima non trovo nulla da rispondere: relativamente alla seconda avrei da dire anche troppo. Primo di tutto ti assicurerò dell'effetto eccellente prodotto da essa in me nei tuoi e negli amici. Eguale impressione farà nei componenti il Consiglio.

E' bene che il disegno debba essere rifatto perché così potrai meglio indicare le modificazioni subite dalla macchina specialmente la disposizione del filo elettrico; seppure non fosse più opportuno l'indicare il modo di fare la carica mediante eccentrico.

Ciò non sarebbe inutile. Credo poi assolutamente necessario che tu disegni la macchina del primo sistema, ossia del sistema misto, quando anche ciò importasse l'obbligo di prendere due brevetti. Anzi io non trascurerei nemmeno il sistema della macchina seconda creduto (e non a torto) importantissimo dall'Antonelli. La lunghezza del tempo che tuttociò può richiedere non ti spaventi e neppure ti spaventi la spesa. Mi raccomando che nella descrizione del primo sistema tu non trascuri la Pompina a fuoco per incendiare le cariche, e che di più, se possibile, che invece di fare agire lo stantuffo inferiore sull'asse, tu indichi almeno come questa azione si può avere mediante due leve di secondo genere, che prendessero l'estremità inferiore dei tiranti verticalmente sotto l'asse, come si tentò molto imperfettamente di fare altra volta.

Le leve in discorso, per un cilindro lungo un metro e del diametro di 20 cm. dovrebbero essere tali che mentre lo stantuffo agente a una delle loro estremità percorre sedici centimetri, il punto ove prendono i tiranti ne percorresse dodici; cosicché il raggio dell'eccentrico

risulterebbe di sei. Non ti dar pensiero della sega circolare, e piuttosto aspetta di essere a Londra per vedere se ti capitasse a buon prezzo una qualche macchina che per noi faccia lo stesso effetto; come sarebbe una pompa, la quale richiedesse una forza anche non maggiore di 4 cavalli. A me non dispiacerebbe nemmeno un ventilatore, un mulino portatile. I Boccioli da olio li potrai prendere a Londra ove li pagherai molto meno che a Parigi. Là, oltre i tubi, potresti acquistare dei Bastoni elastici di molta forza da sostituirsi ai contrappesi che ci fanno impazzire. Per tua regola Basunet, di cui mi varrei sempre, è a Parigi e alloggia al Louvre.

Per mancanza di spazio resto con salutarti

Firenze 19 Marzo 1862

tuo aff.mo amico Barsanti

lettera n° 5

Lettera di P. E. Barsanti a Sua Santità

Sono quattordici anni che incoraggiato dal mio collega ed ora mio superiore in questa Provincia Scolopica di Toscana, P. Giovanni Antonelli, mi volsi con ardore alla ricerca di una nuova forza motrice, tale da potersi con rilevanti vantaggi, specialmente dal lato della sicurezza e dell'economia, sostituire in tutto quegli usi per i quali si impiega oggi la forza del vapore.

Mercé della Divina assistenza posso dire che i miei perseveranti e faticosi studi tocchino ormai ad un punto da porgere fondate speranze del più favorevole successo: Talmente che per incarico di alcuni industriali e col beneplacito dei miei Superiori, non avendosi in Italia officine bastanti per piccoli lavori, mi dispongo a partire per Liegi, per ivi far costruire dei motori secondo il sistema da me inventato.

Siccome però, in mezzo alle difficoltà gravissime e agli ostacoli di ogni maniera contro dei quali ho dovuto lottare, mi ha sempre animato e sostenuto che l'opera mia, sebbene miri per se stessa ad un utile tutto materiale e terreno, può tuttavia, e deve indirizzarsi ad un fine più nobile ed elevato, nell'interesse morale e religioso del popolo, e forse, in questi miseri tempi, riuscire non isvantaggiosa alla Chiesa, a cui io nella mia condizione mi credo esclusivamente consacrato: Così ora prima di consegnare definitivamente al pubblico la mia invenzione, mi volgo con fiducia al paterno cuore di V. S., e imploro umilmente l'Apostolica Benedizione su me e su questo parto, qualunque siasi, del mio ingegno e delle mie fatiche, affinché tutto l'effetto e l'utile ridondi in fine a vantaggio e gloria della nostra Santa Religione Cattolica almeno perché veggano, anche una volta i suoi nemici, com'ella non contraria ma promuova e coltiva i trovati della scienza e dell'industria; sempre che non sian fatti servire di ostacolo al congiungimento di quel bene che più all'uomo interessa, cioè l'eterna salute.

Degnatevi dunque, o Padre Santissimo, di accogliere benignamente la mia umile istanza: degnatevi di riguardare ai sensi che me la ispirano; sensi di attaccamento e di ossequio sincero ed illuminato a quella fede di cui siete costituito in terra supremo ed Infallibil Maestro: e

benedicetemi nell'atto che prostrato al bacio del Sacro Piede, godo di protestarmi, sebbene indegnissimo

D. Vostra Santità

Devotissimo Obbedientissimo

lettera n° 6

Fonderia di ferro - di seconda fusione - fuori la Porta di S. Frediano presso il Pignone.

Firenze li 22 settembre 1853

Amico carissimo

Colla mia lettera del 20 corrente ti annunziava aver trovato qualche imperfezione nel cric ed avere ordinato che fosse nuovamente formato. Ora ti dico che è stato fuso, e che questo sembra buonissimo. In giornata lo farò mettere nel tornio. Colla altra mia del 21 ti diceva nell'atto di inviarti il disco o fondo del cilindro con i due buchi richiusi, che avrei risposto al contenuto della tua lettera dello stesso giorno 21, la mattina del giorno appresso. Eccomi a soddisfare alla mia promessa. Tu mi hai rimandato la forca, dicendomi che non stava bene e poi continuando a parlare di quel pezzo così ti esprimi:

Abbi la compiacenza di correggere il modello a forma del disegno che ti rimetto, che ho fatto anche più sottile, vedendo che non era necessaria tanta materia, e falla rigettare di nuovo.

Ma questo disegno, che rappresenta la modificazione da farsi alla forca io non l'ho ricevuto. Mi hai mandato il disegno dell'insieme del cilindro ed altro, che io feci, ma la forca che in esso vien rappresentata è tutt'altra cosa che quella che hai fatto. Vorresti tu forse abbandonare il modello fatto da te e farne invece uno qual è quello da me disegnato? Dammi uno schiarimento in proposito. Sulla ruota dentata vecchia vi è un mozzo, ma io non troverei un mezzo sicuro e facile per togliere quello e sostituirvi il manicotto dentato; forse questo mezzo vi sarà, ma io vi ho un poco pensato, dietro l'osservazione, che tu mi fai, ma non si è presentato alla mia mente.

Tu mi dici ancora che tu vorresti che i manicotti fossero dalla parte opposta al volano. Perché ciò possa ottenersi mi sembra non esservi altra strada, che cambiare la posizione attuale del volano, e metterlo dalla parte opposta.

Rispondimi sopra tutte queste cose. Addio. Tanti saluti a mio nome alla Signora Giulia.

Tuo aff.mo amico

P. Benini

P. S. Il disegno che io ti rimetto è l'unico relativo a questo lavoro, che sia nelle mie mani. Addio.

Con un disegno
Stimatiss. Sig. Felice Matteucci
S. P. M.

lettera n° 7

Livorno li 10 Maggio 1858

Stimatissimo Signor Matteucci,

Questa mattina ho fatto consegna al Signor Luigi Barsanti del cilindro completo e conforme. Ella potrà riscontrare i pistoni, eseguiscono un effetto bellissimo facendo l'uno l'attrazione dell'altro.

Le sue balestre sono assai mollegiate e chiudono bene senza resistenza, ma è necessario di darle sempre l'olio onde allontanarle il pericolo della ruggine. La guarnizione di pelle sopra le piattine di detti pistoni non è stata messa perché mi sembra che non possa occorrere.

Le rimetto la fattura del conto di tutto l'insieme del lavoro e prego la di lei bontà volermene effettuare il saldo trovandomi in effettivo bisogno di denaro. E nel prevenirla che necessitandole qualche altro lavoro sono sempre qua ai suoi comandi la saluto e mi confermo con tutto il rispetto

suo dev.mo servo

Vincenzo Calegari

Ill.mo Signor Felice Matteucci

Firenze

lettera n° 8

Livorno li 14 Maggio 1858

Signor Felice Matteucci

Firenze

Ora poi mi gioca farle osservare che è assai difficile per questi lavori fare dei confronti con altre fonderie, poiché la fusione è perfetta, e l'assicuro che per un cilindro di quella lunghezza non è facile nella fusione da far sì che nell'interno non vi resti una semplice lamola.

In quanto poi all'esattezza della quale Ella non trova tante belle cose, io le dirò che il foro non può essere più esatto, come pure i pistoni con le sue balestre, che avevo lasciato assai più

forte ma che fui costretto alleggerire perché appoggiavano sulle pareti con molta resistenza, e le assicuro che le medesime lavorano assai bene, ma per quanto esse siano precise, quelle difficoltà di cui abbiamo parlato tante volte non possono a meno di presentarsi. Siccome in costruzione era già preveduto alla piattina avanti dei pistoni gli feci lasciare un orlo elevato con rivolta per metterci il cuoio rapportato con qualche vite, che così appoggiando alle pareti sarà facile che il fumo non passi e quella scintilla che tenta sortire resterà soffocata fra la balestra e il cuoio. In queste cose bisogna prendere quei compensi che possono reputarsi facili e più adatti, perciò quando V. S. creda necessaria la mia venuta costà per conciliare sul posto qualche modificazione si compiaccia avvisarmi che lo farò ben volentieri.

Frattanto la salute e mi confermo

Suo dev.mo servo
Vincenzo Calegari

Signor Felice Matteucci
Croce Rossa Palazzo Cepparello
Firenze

lettera n° 9

Che i vapori sono della forza nominale di 20 cavalli circa, ma che non si adoperano mai che per la forza di 16 o 18, cosicché se la macchina che ora è costruita alla nostra maniera ha la forza reale di 20 cavalli è più che esuberante per il servizio che si richiede dai vapori.

La Società desidera essere avvisata del giorno in cui succederanno a Firenze gli esperimenti della nuova macchina intendendo di mandarvi il Signor Pessina appositamente onde, se riesce, come si spera, combinare il tutto di persona.

Ella scriva dunque a me o al Signor Pessina direttamente qualche giorno prima onde questi si possa portare a Firenze. Io mi tratterò fino al giorno 22 circa del mese ed avrò caro saperne qualche cosa prima della mia partenza.

Sono con tutto il piacere di Lei Preg.mo Signor Cavaliere
Como 11 Ottobre 1858

Dev.mo servo ed amico
M. Calcagnini

Al N. H. il Cav. Prof. Felice Matteucci
Firenze

lettera n° 10

"E questa Società deliberava di affidare la costruzione di una terza macchina con due cilindri orizzontali, più grandiosa della precedente, cioè della forza nominale di 12 cavalli, alla rinomata officina Escher Wyss e Co. di Zurigo; macchina che venne difatti montata ed esposta al pubblico nel locale della Società medesima in Firenze dove trovasi tuttora. Bisogna dire che il suo modo d'azione paresse soddisfacente, dacché invogliò parecchi industriali a farne richiesta."

lettera n° 11

Firenze 26 Marzo 1862

Caro Felice

..... sono stata ora alla macchina e ho sentito che lunedì la fece agire in presenza di Jakson e di Eliotte che rimasero sorpresi di vederla andare così bene e si persuasero della grande utilità di questa scoperta; cosa della quale dubitavano, a sentire Barsanti, fin da quando lavoravano a Zurigo.

Dice che ora va così quieta che non si sente punto rumore ma poi ti farà scrivere da sé molto più se riceve la tua lettera, che mi annunci.

lettera n° 12

Firenze, 13 Gennaio 1864

Alla Società Escher Wyss

Zurigo.

Dal tempo che io passai in codesto Stabilimento per dirigere la costruzione di una macchina secondo il mio nuovo sistema, ho atteso senza posa a tutti quei perfezionamenti di cui l'invenzione dal punto di vista meccanico, poteva rendersi capace.

Il felice esito di questi miei lavori e le successive pubbliche esposizioni, mi hanno recentemente procurato molte richieste per parte degli industriali, ed alcune di queste mi sono dimandate anche con premura. Dovendo adunque rivolgermi sollecitamente a qualche costruttore per interessarlo a lavorare per conto nostro, prima anche di avanzare al Consiglio Dirigente mie proposte a vostro riguardo ho pensato di rivolgermi a voi per sentire l'opinione vostra a questo proposito. Le buone e gentili accoglienze che io m'ebbi da voi, e la perfezione di lavoro di cui non ebbi a che lodarmi mi farebbero preferire il vostro stabilimento.

Se voi siete disposti ad accettare io vi invito a rispondermi tosto, affinché, impegnato come sono a sollecitarmi, io possa proporre al nostro Consiglio la convenienza di venire costà avvalorato da un vostro impegno preventivo che mi prometta la stessa cooperazione intelligente e benevola di cui mi foste cortesi quando io fui fra voi.

Per mia regola inoltre, affinché io possa regolarmi sui disegni che mi possa convenire di portare con me, vi prego anche di dirmi se sia sempre alla vostra officina lo stesso disegnatore Signor Stierlin che era costì all'epoca in cui pure io mi trovavo a Zurigo.

Nella aspettativa dunque di una pronta vostra risposta ecc.

f.° P. Barsanti

lettera n° 13

Appena giunto a Liegi, mi portai dai signori Dawans, i quali mi annunciarono che la nostra macchina era in quel giorno stesso arrivata a Liegi e che si trovava alla Dogana: ma che non si sarebbe potuto aver consegnata che dopo qualche giorno per causa di alcune formalità che erano ivi da soddisfare. Ma in appresso il sig. Dawans in persona venne a trovarmi e mi fece noto che le formalità richieste avrebbero domandato ancora del tempo ma che alle medesime avrebbe potuto avviarsi mediante il pagamento di una somma. Considerando quanto necessario fosse per me anzi che sprecare, fare economia del tempo, venni nel parere del sig. Dawans che era di soddisfare ai diritti richiesti e ritirare immediatamente la macchina.

Ciò fatto, la macchina per le cure assidue e premurose del sig. Dawans che personalmente ha atteso a sorvegliare tutto l'occorrente è arrivata nello stesso giorno a Searing, dove, cordialmente accolto, sono stato facoltizzato a montarla e mi è stato assegnato il locale stesso dove si montano le grandi locomotive. Dopo due giorni la macchina è stata sballata, pulita e

montata, e appena terminati i lavori l'ho immediatamente posta in azione e l'esito ha corrisposto pienamente a tutte le mie speranze; ciò che ha destato una meraviglia improvvisa in mezzo a tutti gli operai i quali non si attendevano punto un risultato di tale sorta.

In poco tempo la notizia, essendosi sparsa nello Stabilimento, non solo gli operai, ma gli impiegati e gli ingegneri, pressoché tutti, si sono recati a vederla. Non era nemmeno attendibile che l'opinione di tutti fosse talmente concorde.

A titolo di vera storia e per dare una giusta soddisfazione a codesti egregi signori componenti il Consiglio, e a tutti i nostri azionisti, devo aggiungere che la impressione era stata sì grande che durante la sospensione dei lavori degli operai ho dovuto, per compiacerli, rimettere di nuovo in moto la macchina e soddisfare la loro viva curiosità.

Non posso citarLe tutti i particolari e gli aneddoti di questa interessante esposizione; dirò solo che oggi il Capo delle Officine, nell'invitarmi a mostrare ad un meccanico la macchina mi pregava di tenerla poco in azione, perché altrimenti essa era la distrazione di tutti i suoi lavoranti.

lettera n° 14

Livorno 26 Giugno 1854

Stimatissimo Signor Matteucci

Firenze

Mi proponevo di scriverle per annunziarLe la mia partenza quando mi pervenne la sua di ieri.

Il Loro brevetto è pubblicato a Londra come lo prova il Morning Journal che io ho ricevuto.

Riguardo alla nuova invenzione della quale mi fa cenno, Le potrò dire qualcosa di più a voce. Sento con piacere che sono pervenuti ad impiegare la forza diretta. Se il sig. Pensland ha una opinione ed influenza in Inghilterra ci potrebbe essere di utilità. Il mio amico è passato oggi di qua per ritornare in Inghilterra in fretta. Giovedì o venerdì sarò costì per andare in Germania e poi in Inghilterra.

Se fosse possibile prenderei le piante con me per vedere cosa vi sarà da fare.

Frattanto mi ripeto con tutta stima

Suo dev.mo servo

Gugl. Haehner

lettera n° 15

Paris 22 Août 1867

Monsieur le Professeur Matteucci Deputé au Corps Legislatif
Florence

Très illustre et très Honoré Maître

Permettez-moi de venir solliciter de vous un renseignement et pardonnez-moi de vous importuner au melieu de vos grands et doctes travaux. J'aborde immédiatement le motif de ma démarche.

Le 9 Janvier 1858 vous avez pris en France de concert à M. Barsanti, un brevet d'invention pour un moteur à gaz. Il y a à l'esposition de 1867 une machine copiée sur la votre par deux ingénieurs prussiens. Cette machine a été honorée d'une medaille d'or.

J'ai critiqué le don de cette récompense dans mon journal "Le Gaz" et je vous envoie le numero que contient mon article que j'ai indiqué en crayon en marge pour vous éviter tante recherche.

Cet article à été goûté par le plus grand nombre, mais il est l'objet de réclamation de la parte de ceux qui ont présenté la machine prussienne.

Ne pouvant choisir en cette occurrence de meilleur juge que vous, je prende la liberté de vous prier de lire mon article et de vouloir bien me dire votre opinion sur le jugement que j'ai émis et les allegations par moi avancées concernant les motifs qui ont animé votre abandon de votre brevet.

Organe de l'industrie de l'Eclairage par le Gaz je cherche de tous côtés la vérité sur les Questions dont l'appréciation peut paraître douteuse et j'ose espérer, Monsieur, que vous ne me refuserez pas votre avis en cette circonstance.

Veillez agréer, très Illustre Maître, l'assurance de mon profond respect et de ma Haute consideration.

Emile Durand
Directeur du journal "Le Gaz"
72 Faubourg Montmartre - Paris

lettera n° 16

Londra, 2 Aprile 1854

Sig.ri Proff. E. Barsanti e F. Matteucci
Stimatissimi Signori

Non ho mancato di occuparmi subito dopo il mio arrivo qui della Loro invenzione, e dopo molte informazioni e ricerche mi ho dovuto disgraziatamente convincere che la Loro invenzione non è affatto nuova, ma che furono presi già diversi brevetti sull'impiego dell'idrogeno per forza motrice mediante l'esplosione per mezzo dell'elettricità, ma che nessuna è stata messa in esecuzione non essendo riuscito di regolare la forza.

Mi sono perciò naturalmente astenuto di prendere il brevetto, riservandomi al mio prossimo ritorno di comunicarle i brevetti rivali, e per concertarci poi quali siano le misure da prendersi, non avendo ancora perso interamente la speranza che qualche partito si possa ritirare dalla Loro invenzione.

Mi dispiace sinceramente di non aver potuto comunicare migliori nuove, e sperando di aver dopo le feste il piacere di vederle mi confermo con distinta stima

Loro dev.mo servo ed amico
Guglielmo Haehner

(In una postilla G. Haehner prega F. Matteucci di presentare i suoi saluti in famiglia e gli parla di un'altra commissione da lui avuta ma che non ha nessuna relazione col motore e col brevetto)

lettera n° 17

Firenze, 28 Aprile 1854

Stimatissimo Signor Haehner

Il Sig. Matteucci ed io, ripensando alla nuova sistemazione di fogli relativi alla domanda di privativa da inoltrarsi ai Governi di Inghilterra e di Francia, per la forza motrice da noi inventata, abbiamo dovuto riconoscere che il cambiamento del titolo della domanda predetta non potrebbe non potrebbe consentirsi da noi senza rinunciare etc. A ciò siamo indotti dalla certezza nella quale eravamo precedentemente alla sua partenza per l'Inghilterra e nella quale ci han confermato le notizie da Lei recateci al suo ritorno, che la nostra invenzione è affatto nuova.

La S. V. ci suggerisce di domandare un brevetto col titolo di *miglioramento o perfezionamento*; ma di quale macchina o di quale invenzione può dirsi un perfezionamento la

nostra? E chi è che ha giunto ad applicare con successo *la forza sviluppata dalla detonazione del gas idrogeno combinato con l'aria atmosferica*? I brevetti che sono stati chiesti e ottenuti in Inghilterra riguardano la detonazione dell'idrogeno con l'ossigeno, e non con l'aria e questa differenza è enorme; di più, la nostra macchina applica la forza motrice in un modo totalmente diverso dalle altre, vale a dire che è affatto nuovo il nostro modo di applicazione.

E d'altronde è nel modo di applicarle le forze che può dimandarsi un brevetto, poiché si conoscono da tutti molte forze esistenti in natura o artificialmente prodotte. Quanti secoli sono da che si sa che il vapore e le detonazioni gassose sviluppano una forza immensa?

Il merito di Watt o di Fulton consiste nell'averle trovate o applicate? Noi dunque, persistiamo nella nostra risoluzione di non cangiare il titolo il che sarebbe a pregiudizio del nostro decoro e forse anche del nostro interesse.

Nel parteciparle questa ferma risoluzione, le raccomandiamo caldamente il più sollecito invio degli appunti che ci sono necessari per mettere in regola le nostre carte. Le rammentiamo nel tempo stesso che noi non sapremmo tollerare di avere a persistere più lungamente nello stato di inquietudine nel quale ci tiene il timore di essere prevenuti, e a tale oggetto le diciamo con tutta franchezza che mentre non abbiamo rammarico di esserci associati in questo affare con una persona alla quale professiamo la stima e la fiducia che merita, saremmo d'altronde disposti ad annullare il nostro patto sociale, sia nel caso che Ella avesse diminuita la sua fiducia in noi, e nel successo della nostra invenzione, come nel caso che Ella non potesse occuparsi immediatamente del disbrigo di questo affare.

Attendendo insieme ai sopraccennati appunti l'espressione dei suoi sentimenti in replica alla presente, mi confermo con ossequioso rispetto

suo dev.mo Servitore
Eugenio Barsanti
delle Scuole Pie

lettera n° 18

Creuznach, 31 Agosto 1854

S. T. Sig.ri E. Barsanti e F. Matteucci
a Firenze

Pregiatissimi Sig.ri

Ho ricevuto a suo tempo il disegno e descrizione della loro macchina e non ho mancato di occuparmene durante il mio soggiorno a Londra. Disgraziatamente Brunel e Crampton erano assenti, ma mi sono rivolto all'Ing. May, quacchero, uomo rispettabilissimo e coscienzioso, il quale nella meccanica pratica gode anche più reputazione dei suddetti. Il medesimo ha esaminato il meccanismo della loro macchina attentamente, perché gli fui raccomandato da un suo amico intrinseco, il quale si sarebbe interessato volentieri per l'affare, ma a mio gran dispiacere dichiarò che un simile meccanismo non poteva mai riuscire in pratica e che non poteva consigliare nessuno a fare spese per il medesimo. Non entrò in dettagli (perché questi Signori sono occupatissimi e fanno poche parole) ma mi sembrò che il sistema dentato non gli paresse conveniente per un simile oggetto.

Ho lasciato le carte ad un mio amico per domandare a Crampton un parere confidenziale al suo ritorno, ma temo che confermerà la dichiarazione di May. Anche il mio Patent-Agent, Carpmael, che s'intende benone di meccanica mi disse già in principio (e ciò contro il suo interesse) e me lo ripeté sempre, di non fare spese per questa macchina perché è impossibile superare le difficoltà. Devo osservare a Loro che il Sig. May non si è occupato della convenienza della macchina, ma della esecuzione meccanica soltanto.

Quando avrò il parere di Crampton non mancherò di comunicarlo a Loro ma frattanto non lo credo conveniente per ora, di fare altre spese, almeno da parte mia non vi sarei disposto.

Spero di ritornare fra breve in Italia, allora concerteremo le misure ulteriori da prendersi, ed intanto sono con distinta stima

Loro dev.mo Servo
Guglielmo Haehner

lettera n° 19

Casa 8 novembre 1861

Pregiatissimo Signore

Ci affrettiamo a replicare alla pregiata sua di questo stesso giorno:

1.° Che i brevetti da Noi presi per il nostro Motore si trovano presso il sottoscritto. Senon che essendosi dovuto l'anno decorso prolungare ad altri sette anni il Brevetto inglese che era stato preso nel 12 Giugno 1857 fu giocoforza di ritornare a Londra ai Signori Newton e figlio il documento primitivo, che era una pergamena contenuta in una voluminosa cassetta, la quale è rimasta a nostra disposizione presso i suddetti Signori e possiamo ripeterlo ad ogni momento. Gli altri brevetti, di cui sopra, sono di Piemonte 31 Dicembre 1857 ed altro di perfezionamento 26 Luglio 1858 - di Francia 9 Gennaio 1858 - del Belgio 10 Febbraio 1858.....

lettera n° 20

Inizio della domanda del brevetto Barsanti-Matteucci-Babacci.

Nuovi e perfezionati sistemi per ottenere una forza motrice dalla detonazione di una mescolanza di aria atmosferica e di un gaz infiammabile e da qualunque composizione detonante.

Fino dall'anno 1857 (12 Giugno) i postulanti Prof. Eugenio Barsanti e Felice Matteucci di Firenze, ottennero una patente d'invenzione nel Regno della Gran Bretagna per un nuovo modo d'impiegare la detonazione di una mescolanza di aria atmosferica e di un gaz infiammabile come forza motrice e successivamente si procurarono Brevetti d'invenzione per lo stesso oggetto in Francia, Italia, Austria, Belgio.

Nel tempo trascorso da quell'epoca fino al presente gli inventori costruirono macchine sempre sullo stesso principio ma con organi vie più perfezionati.

Aggiuntosi per ultimo come collaboratore l'altro postulante Giovanni Battista Babacci di Forlì hanno modificato e perfezionato l'organismo delle macchine principali nei modi qui appresso descritti:

lettera n° 21

Agence Centrale - des - brevets d'invention - Obtention et vente - en France et à l'Etranger -
Cabinet spécial pour l'Angleterre - Affaires Contentieuses - Bonneville - 39 Rue de l'
Echiquier - Paris.

Paris, le 22 Mai 1860.

Monsieur Barsanti, professeur de physique et Monsieur Matteucci
Florence (Toscane)

J'ai l'honneur de vous prévenir que la taxe de 3.e année de votre Brevet Anglais du 12 juin
1857 N. 1655 sera exigible le 11 juin prochain, et que les formalités pour le versement de
cette taxe devront être accomplies à Londres avant cette époque.

Veillez, je vous prie, me faire parvenir vos instructions dans le plus bref délai, et, dans le
cas où j'aurais à remplir ces formalités, me faire remettre la somme de F.cs 1350 (dans la
quelle se trouvent compris les frais de timbre, d'enregistrement et d'Agence) et le Brevet qui
doit être présenté en faisant le versement.

J'ai l'honneur d'être

Monsieur,

Votre dévoué serviteur
Bonneville

lettera n° 22

Ill.mo Signore

Il sottoscritto nella persuasione che il sistema Barsanti-Matteucci sia l'unico con cui si
possa utilizzare la forza espansiva del Gaz idrogeno e che la non completa riuscita dei motori
fin qui costruiti dipenda soltanto da difetto di organi secondari, si è dato a studiare i modi di
perfezionare i motori già costruiti sopra questo sistema e, mediante la costruzione di diversi
modelli, a concepire diversi miglioramenti dei quali non può mettere in dubbio la riuscita.

Nulla di meno non volendo nulla rischiare a carico della Società, propone che qualora non
siano stati anche posti efficacemente né attivati i progetti degli attuali Direttori tecnici, di
introdurre a proprie spese nella più grande delle macchine costruite a Zurigo quelle
trasformazioni ed aggiunte che crederà utili a renderla attiva con piena regolarità e ciò alle
seguenti condizioni:

1.° Che gli siano consegnati tutti quei pezzi che egli richiederà della predetta macchina per
farvi eseguire in una officina di sua fiducia quelle modificazioni e aggiunte che reputerà
necessarie.

2.° Di potere sperimentare la macchina con i nuovi pezzi nel locale della officina della Società, con piena libertà e con l'aiuto dell'artefice della stessa Società, al quale oggetto nel caso che vi debbano praticare altre persone si richiede che parte di locale ove è situata la macchina grande sia separata con affissi di legno o parete di materiale dal rimanente dell'officina.

3.° Che qualora il sottoscritto ottenga lo scopo che si propone facendo lavorare la macchina per una continuità sufficiente a dimostrarne l'effetto, debba la Società, inteso un meccanico costruttore di reciproca fiducia, applicare a sue spese e con l'assistenza del sottoscritto, la macchina stessa ad una qualche industria che ne ponga in evidenza l'utilità; e debba provvedere i brevetti di aggiunta o miglioramento a quelli già posti in nome Barsanti-Matteucci.

4.° Che il sottoscritto in ricompensa delle opere e degli studi fatti o da farsi, debba percepire la quota del 6% sugli incassi che deriveranno dalla vendita dei brevetti, in cui saranno introdotti i miglioramenti da lui ritrovati o dalla vendita delle macchine che la Società volesse far costruire a suo conto, dedotte le spese di effettiva costruzione delle medesime e gli venga concesso in proprietà quella delle più piccole macchine esistenti montata sopra un piano di legno la quale mentre non ha verun pregio materiale ha per lo scrivente il pregio morale di essere il primo frutto delle fatiche dei due inventori.

Ed in aspettativa di una risposta non più tardi della fine del mese corrente, ho l'onore di dichiararmi

Firenze li 15 Gennaio 1866

D.mo
Felice Matteucci

Nota inviata alla Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci da parte della Società Escher Wyss e Co. di Zurigo.

Questa nota è riportata in [] tradotta dal tedesco con le seguenti precisazioni: nel linguaggio tecnico tedesco il termine "Metall" è correntemente usato per indicare, in generale, "bronzi ed ottoni"; il termine "Stifen", indicante le viti cilindriche a due avvitamenti, uno dei quali è prigioniero, è stato tradotto semplicemente con "viti", mentre il termine "Schrauben", assegnato ad organi di collegamento con testa e dado, è stato tradotto con "bulloni"; inoltre il termine "Stellschrauben" è stato, letteralmente, tradotto con "viti di registrazione", anche se è possibile che esso, in qualche caso, si riferisca più semplicemente a "viti a testa", senza dado.

tabella IB

Traduz. Doc.^o Escher Wyss.

Ottobre 1861

SOCIETÀ AN. BARSANTIE MATTEUCCI Firenze (a ½ Nordostbahn 13 casse) B. e M. N. ^o 1 a 13 1 Motore a gas di 18 cavalli		Pesi (in libbre di 500 grammi)				Prezzi (in franchi sviz.)	
		Ghisa	Ferro fucinato	Metalli	Diversi	Prezzo	
						unitario	totale
1	1 Piastra di fondazione in ghisa	1418	---	---	---	0,20	283,60
2	2 Scudi in ghisa	2084	---	---	---	0,20	416,10
3	16 Bulloni c. dadi per fissaggio degli scudi	---	59	---	---	0,65	38,35
4	2 Traverse di ghisa di collegamento fra gli scudi	643	---	---	---	0,20	128,60
5	8 Bulloni c. dadi per fissaggio	---	3½	---	---	0,75	2,63
6	2 Traverse di collegamento, con quattro dadi rondelle di ferro fucinato per gli stessi	---	293	---	---	0,70	205,10
7	4 Bussole (manicotti) di ghisa	44	---	---	---	0,25	11,--
8	2 Cilindri, con quattro coperchi con premistoppa e quattro coperchi per i cassetti, in ghisa	2490	---	---	---	0,25	622,60
9	8 Bussole di metallo	---	---	12½	---	2,30	28,75
10	16 Viti con dadi per premistoppa	---	12	---	---	0,75	9,--
11	4 Dischi di ferro fucinato per premistoppa	---	18	---	---	0,60	10,80
12	32 Viti con dadi per coperchi	---	12	---	---	0,75	9,--
13	32 Viti con dadi dei coperchi dei cassetti	---	4	---	---	0,75	3,--
14	16 Bulloni c. dadi per il fissaggio dei cilindri	---	26	---	---	0,70	18,20
15	2 Dadi in metallo dei cilindri	---	---	2	---	2,30	4,60
16	4 Stantuffi in ghisa	340	---	---	---	0,25	135,--
17	20 Viti con dadi	---	26	---	---	0,75	19,50
18	20 Dadi di metallo	---	---	15½	---	2,30	35,65
19	8 Molle di acciaio	---	---	---	3¾	1,50	5,63
20	8 Viti con dadi	---	3	---	---	0,75	1,50
21	4 Aste di stantuffo con quattro dadi fucinati	---	498	---	---	0,70	348,60
22	2 Traverse di ghisa	190	---	---	---	0,25	47,50
23	8 Mezze bronzine e quattro coperchi per la lubrificazione, in metallo	---	---	14½	---	2,30	33,35
24	8 viti di registrazione con dadi	---	1¾	---	---	0,75	1,32
25	2 Supporti di ghisa per le stesse (traverse)	107	---	---	---	0,20	21,40
26	8 Viti con dado per il fissaggio dei supporti alla piastra di fondazione	---	6	---	---	0,75	4,50
27	8 Bulloni di fissaggio delle traverse ai supporti	---	8	---	---	0,75	6,--
28	8 Bulloni per il fissaggio delle traverse agli scudi	---	3	---	---	0,75	2,25
29	8 Aste di guida con dadi e cunei in ferro fucinato per guida dello stantuffo	---	250	---	---	0,70	175,--
30	16 Viti con dadi per le stesse, sui coperchi dei cilindri	---	12	---	---	0,75	9,--
31	4 Traverse per bilancieri, di ferro fucinato	---	212	---	---	0,80	169,60
32	8 Bussole di metallo brevettato per le traverse	---	---	20	---	2,30	46,--
33	8 Coni fucinati per le cerniere nelle stesse	---	44	---	---	0,80	35,20
34	8 Perni fucinati con dadi nelle stesse	---	24¾	---	---	0,70	16,98
35	8 Mollette d'acciaio per le stesse	---	---	---	½	1,50	0,75
36	8 Viterelle fucinate nelle stesse	---	¾	---	---	0,75	0,57
37	16 Viti di registrazione di acciaio	---	---	---	2¼	1,20	3,--
38	4 Bilancieri fucinati con quattro perni	---	803	---	---	0,86	642,40
39	12 Paia di mezza bronzine in metallo	---	---	60	---	2,30	1388,--
40	8 Coperchi fucinati per le stesse	---	10	---	---	0,60	6,--
41	16 Viti con dadi per i coperchi	---	3¾	---	---	0,75	2,63
42	8 Rondelle in acciaio	---	---	---	6	1,20	7,20
43	12 Viterelle di registrazione	---	---	---	3½	1,20	4,20
44	4 Spine d'acciaio per i perni	---	---	---	1	1,20	1,20
45	4 Aste da trampolo per movimento, con 12 cappelli fucinati	---	359	---	---	0,70	251,30
46	12 Paia di mezza bronzine di metallo	---	---	40	---	2,30	92,--
47	12 Cunei di acciaio, con controcono di acciaio	---	---	---	22	1,20	26,40
48	1 Albero a gomito con quattro manovelle fucinate, in tre parti	---	598	---	---	0,80	478,40
49	4 Cunei d'acciaio per le manovelle	---	---	---	6	1,20	7,20
50	4 Bulloni c. otto dadi per l'unione delle parti dell'albero	---	8	---	---	0,75	6,--
51	3 Supporti in ghisa per l'albero a manovella	167	---	---	---	0,20	33,40
52	3 Paia di mezza bronzine per i supporti intermedi con coperchio di lubrificazione in metallo	---	---	46½	---	2,30	106,95
53	6 Bulloni c. dadi	---	28½	---	---	0,65	18,53
54	1 Supporto in ghisa sul cilindro quale supporto del pezzo di mezzo dell'albero	86	---	---	---	0,20	17,20
<i>A riportarsi</i>		7769	3325¼	211	45½		4748,64

tabella 2B

		Pesi (in libbre di 500 grammi)				Prezzi (in franchi sviz.)	
		Ghisa	Ferro fucinato	Metalli	Diversi	Prezzo	
						unitario	totale
	<i>Riparto</i>	7769	3325 ¹ / ₄	211	45 ¹ / ₂		4748,64
55	4 Bottoni di fissaggio al cilindro		2 ¹ / ₂			0,75	1,83
56	5 Cunei fucinati per il fissaggio dei supporti dell'albero a gomito		6			0,60	3,60
57	1 Albero esterno con supporto in ghisa	69				0,20	13,80
58	1 Paio di mezza bronzine per supporto intermedio in metallo			13 ¹ / ₄		2,30	30,48
59	2 Bottoni fucinati con dadi		7			0,65	4,55
60	4 Cassetti in ghisa	30				0,25	7,50
61	4 Viterelle con dadi		2			0,70	1,40
62	2 Leve per i cassetti con due perni con dadi, due rulli con assi e con due viti di regolazione con arresti fucinati		56			0,80	28,80
63	2 Alberetti con quattro manovelle, due leve con dadi e quattro supporti fucinati		38			0,80	30,40
64	8 Viti per il fissaggio del supporto		2			0,75	1,50
65	2 Coni di ghisa per la guida dei cassetti	48				0,25	12,-
66	2 Molle di acciaio per la guida dei cassetti				3	1,20	3,60
67	4 Viti per il fissaggio alla traversa		1			0,75	0,75
68	2 Contrappesi di ghisa	38				0,20	7,60
69	8 Dischi di caucciù				10	6,85	68,50
70	7 Dadi ed una chiave fucinata		29			0,80	23,20
71	2 Viti ad anello per gli stantuffi		2			0,60	1,20
72	Lavoro di tornitura e piallatura						954,80
73	Lavoro di fabbri (aggiustatori)						2173,45
			Libbre	11687 ¹ / ₄		Franchi	8118,25
74	Lavoro di modelli e legno						243,-
	<i>Da calcolarsi a parte</i>						
75	2 Valvole di introduzione del gas, in metallo			16 ¹ / ₄		2,30	37,38
76	2 Molle di acciaio				1/4	1,30	0,38
77	2 Viti di registrazione fucinate		1/2			0,75	0,38
78	4 Viti con dadi per il fissaggio		1			0,75	0,75
79	2 Valvole con astuccio in metallo (sono i cilindri)			15		2,30	34,50
80	8 Viti con dadi per il loro fissaggio		3			0,75	2,25
81	2 Dadi di metallo per i cilindri			2		2,30	4,60
82	4 Dadi di metallo			7 ¹ / ₂		2,30	17,25
83	4 Flange con otto viterelle, fucinate		2 ¹ / ₂			0,70	1,75
84	2 Robinetti con maschia, di metallo			3 ¹ / ₄		2,30	7,48
85	2 Flange con quattro viterelle, fucinate		3/4			0,70	0,53
86	1 Doppia valvola in ghisa	23				0,25	5,75
87	2 Valvole con astuccio in metallo			2		2,30	4,60
88	2 Flange fucinate		2 ¹ / ₂			0,60	1,50
89	8 Viti con dadi		1 ¹ / ₂			0,75	1,13
90	1 Rubinetto in metallo			9 ¹ / ₂		2,30	21,85
91	1 Chiave fucinata		1/2			0,80	0,40
92	2 Viti con dadi per fissare i rubinetti alla valvola		1/2			0,75	0,38
93	2 Valvole di intercettazione in ghisa	33				0,25	8,25
94	2 Valvole con bulloni e dadi, in metallo			5		2,30	11,50
95	2 Manovelle fucinate		1			0,80	0,80
96	4 Flange fucinate		8			0,60	4,80
97	16 Bulloni c. dadi		3			0,75	4,80
98	6 Dischi di caucciù				6 ¹ / ₂	6,85	44,53
99	2 Molle di acciaio per i cassetti				3	1,20	13,60
100	Lavoro di tornitura e piallatura						49,10
101	Lavoro di fabbri (aggiustatori)						50,65
			Libbre	151		Franchi	318,34
102	Modellatura a legno						30,-
103	4 Tubi di ammissione in lamierino d'ottone				28	1,90	53,20
104	2 Tubi di scarico in rame				2		3,80
105	Lavoro degli ottonei						46,-
106	1 Corona piena per la cinghia	530				0,20	103,-
107	Lavoro di tornitura						106,-
						Franchi	27,50
108	Modellatura e legno						133,50
109	Verniciatore e colori						7,-
110	Casse ed imballaggio						12,40
							122,-

Bibliografia

- [1] Dizionario Biografico degli Italiani, Istituto della Enciclopedia Italiana, Treccani (1976).
- [2] Vannucci Pasquale: "Un maestro del Carducci: Eugenio Barsanti", Estratto da "La Brigata", Anno IX, n°11, anno 1964, pp. 10; A.G.A.R. - Napoli, pp. 10.
- [3] Levi-Cases Armando: "Ideazioni italiane nella prima storia del motore a combustione", Estratto da "L'Ingegnere", Rivista Tecnica del Sindacato Nazionale Fascista Ingegneri, Volume V, n°1, anno 1931; Roma, Società Anonima Poligrafica Italiana, 1931, pp. 7.
- [4] Sarti Ugo: "Ricordo di P. Eugenio Barsanti", Rivista del personale della Banca d'Italia, anno IV, n° 4, ottobre 1964, pp. 34 -38 Tipografia della Banca d'Italia, pp. 34-38.
- [5] Arrighi Gino: "Il motore a scoppio nel centenario della morte del P. Eugenio Barsanti"; Lucca, Tipografia Gemigani, 1965, pp. 145-155.
- [6] Emilio Segrè: "Personaggi e scoperte nella fisica classica", Biblioteca della EST, Arnoldo Mondadori Editore, Milano, 1983.
- [7] Bellone Enrico: "Caos e armonia. Storia della fisica moderna e contemporanea", UTET Libreria.
- [8] Dictionary of scientific biography.
- [9] Levi-Cases Armando: "Precursori Italiani nella storia del motore a combustione interna", Atti del Primo Congresso Internazionale del Motore a Scoppio - Padova 16-17 giugno 1927, estratto dagli "Annali della R. Scuola d'Ingegneria di Padova" - anno III (1927) - n°3; Padova, Società Cooperativa Tipografica, 1928, pp. 35.
- [10] Vannacci Vincenzo: "L'invenzione del motore a scoppio", numero speciale del bollettino dell'Istituto Industriale L. Da Vinci di Firenze, Tipografia A. Conti, Firenze, 1955, pp. 47.
- [11] The New Encyclopaedia Britannica.
- [12] Martini Tito: "Breve storia del motore Barsanti Matteucci", Estratto dagli Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Anno Accademico 1906-1907 (serie ottava - tomo nono), dispensa nona; Venezia, presso la Segreteria del Reale Istituto, Palazzo Loredan Santo Stefano, pp. 643-663.

- [13] A. Bouchardat: "Fisica elementare con le sue principali applicazioni ", prima versione italiana con aggiunte e note di Pompilio Tanzini delle Scuole Pie, anno 1847.
- [14] Orsi Giuseppe: "I motori Barsanti e Matteucci e l'invenzione del motore a scoppio, brevi note storiche-tecniche-illustrative", Estratto dagli Atti della Prima Mostra di Arte e di Storia di Camaiore e della Versilia; Camaiore, Tipografia Benedetti, 1943-XXI, pp. 38.
- [15] Enciclopedia delle Arti e Industrie, anno 1887, voce 'macchine ad aria calda a gas ed a vapore'
- [16] Zanni Silvio: "Una misconosciuta invenzione: il motore Barsanti e Matteucci", Estratto dalla Rivista "Ingegneri", pp. 14-18.
- [17] Levi-Cases Armando: "Il motore Barsanti e Matteucci a stantuffi concorrenti del 1861 e l'opera della Scuola fiorentina del motore", Estratto dal Politecnico" n°2-4-9 - 1930; Casa Editrice Dott. Francesco Vallardi, Milano, via Ausonio n°22, anno 1930, pp. 27.
- [18] Relazione: "Sul nuovo motore a gas ideato dai Signori Barsanti e Matteucci", Atti del Reale Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti, Volume III, Fascicolo XVII-XVIII, Milano, Tipografia Bernardoni, 1863.
- [19] Levi-Cases Armando: "Considerazioni sul principio di termodinamica tecnica fondamento alla costruzione del motore italiano Barsanti-Matteucci", Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Anno accademico 1928-1929 - Tomo LXXXVIII - Parte prima; Venezia - Premiate Officine Grafiche Carlo Ferrari, pp. 1237 - 1277.
- [20] Levi-Cases Armando: "Il motore Barsanti e Matteucci con speciale riguardo alle ricerche che ne precedettero la realizzazione ed alla individualità del principio informatore della realizzazione stessa", Estratto dagli "Annali della R. Scuola d'Ingegneria di Padova", anno V (1929), n°2; Padova, Società Cooperativa Tipografica, 1929, pp. 36.
- [21] Bernardi Enrico: "I motori atmosferici a gaz", Atti del Reale Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Volume III, serie IV
- [22] Maros Dell'Oro Angiolo: "Il motore Barsanti-Matteucci e il pignone", estratto dal numero 6 de "La scuola in azione", E.N.I. Scuola Enrico Mattei di studi superiori sugli idrocarburi; San Donato Milanese - giugno 1966, pp. 107 - 123.
- [23] Enciclopedia delle Arti e Industrie, anno 1885, voce 'gas luce'

- [24] Giuntini Andrea: "Le mille luci di Firenze, itinerario storico dell'illuminazione pubblica", edito su commissione del Comune di Firenze, SIT Editrice.
- [25] Rocchiccioli Giancarlo: "Ricordo di Padre Eugenio Barsanti", Estratto dal "Bollettino Ingegneri" n°5, anno 1987, pp. 10-12.
- [26] Giulio Pajotti: "P. Eugenio Barsanti". Versilia (Primo Centenario Carducciano). Tipografia Marrai e Cinquini. 1935 XII, pp. 181-188.
- [27] Bravieri Dino: "Eugenio Barsanti, l'inventore del motore a scoppio", in "Scienza e Fede, i Protagonisti" a cura di Ivan Tagliaferri ed Elio Gentili, Istituto Geografico De Agostini, Roma, 1989, pp. 165 - 172.
- [28] Capocaccia Agostino : "Il centenario della morte di Padre Eugenio Barsanti inventore del motore a scoppio", estratto dalla Rivista ATA 1965 - SATET - Torino, pp. 366 - 376.
- [29] Capocaccia Agostino: "Celebrazione del Centenario del motore a scoppio", Estratto dalla Rivista ATA - ottobre 1955 - SATET - Torino.
- [30] Arrighi Gino: "P. Eugenio Barsanti e Felice Matteucci inventori del motore a scoppio", commemorazione tenuta dal S. O. Prof. Gino Arrighi il 13 settembre 1954.
- [31] Enciclopedia Storica delle Scienze ed Applicazioni, vol. II, Le Scienze applicate e la Tecnica, tomo secondo, Editore Ulrico Hoepli, Milano, pp. 377-391.
- [32] Storia della Tecnologia, a cura di Charles Singer, E. F. Holmyard, A. R. Hall e T. I. Williams; volume 5, L'età dell'acciaio, 1965, Editore Berlinghieri, pp. 164-165.
- [33] Brenni Paolo: "Breve storia del motore a scoppio sino agli inizi del XX secolo", Estratto dal "Bollettino Ingegneri" n°5, Anno 1987, pp. 7-10.
- [34] Rassegna Volterrana: "Intorno all'invenzione del motore a scoppio, cimeli e documenti", fascicolo I, gennaio-giugno 1931 IX; Volterra, Stabilimento Tipografico Cav. Aristide Carnieri, 1931, pp. 18.
- [35] Rassegna Volterrana: "I primi passi del motore a scoppio", completamento del precedente articolo, pp. 18.
- [36] Terzagli Giulio: "Padre Eugenio Barsanti e i cento anni del motore a scoppio", note per la commemorazione di P. E. Barsanti, tenuta al Rotary Club di Roma il 22 dicembre 1964, pp. 12.
- [37] Atti della Reale Accademia Lucchese di Scienze, Lettere ed Arti. Nuova serie, Tomo 2, Lucca 1936. Memoria letta il 12 giugno 1932 dal socio corrispondente Cav. Dott. Maurizio Cavallini.

- [38] Alfani P. Guido delle Scuole Pie: "Una grande invenzione italiana, il motore a scoppio Barsanti Matteucci (1853)"; Firenze, Tipografia Barbera, Alfani e Venturi Proprietari, 1931, pp. 35.
- [39] Ferroni Enzo: "Barsanti e il motore a scoppio", Estratto dal "Bollettino Ingegneri" n°5, anno 1987, pp. 3-6.