

Ing. A. LEVI - CASES

IL MOTORE BARSANTI E MATTEUCCI

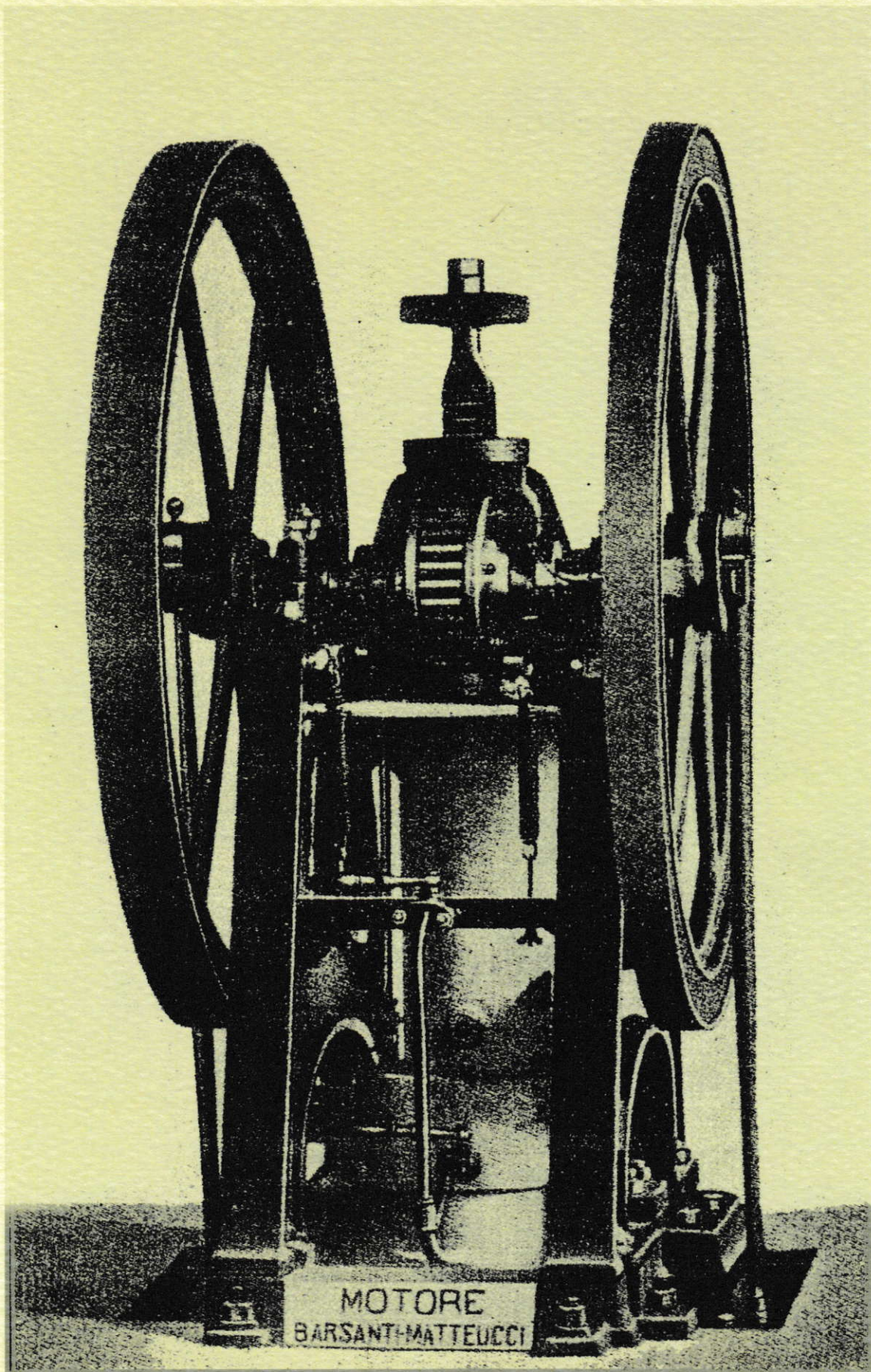
con speciale riguardo alle ricerche che ne precedettero la realizzazione
ed alla individualità del principio informatore della realizzazione stessa

Estratto dagli « Annali della R. Scuola d' Ingegneria di Padova »

Anno V (1929) - N. 2



PADOVA
Società Cooperativa Tipografica
1929



RIASSUNTO

L'A., ripresa da una precedente comunicazione, pubblicata in questi Annali, le notizie sul motore Barsanti e Matteucci necessarie alla conoscenza generale dell'Invenzione, trascrive e commenta un documento conservato nell'Archivio dell'Osservatorio Ximeniano. Questo documento contiene il rendiconto di una cospicua serie di esperienze preliminari fatte dagli Inventori, onde stabilire le condizioni che consentono di ricavare il maggiore effetto utile da un motore ad esplosione privo di compressione preliminare.

Dopo di aver fatto considerare come il documento

tolga all'Invenzione il carattere di semplice frutto di avventurata genialità; e come il suo contenuto possa assurgere, in concorso colle antiche applicazioni, all'altrezza di affermazione originale di un principio risolutivo di un fondamentale problema termologico-tecnico, ricerca il significato teorico di quel principio. Saggia, riprendendo uno studio di contemporanea compilazione, applicazioni del concetto medesimo, affinché (data la possibilità di armonizzarlo col più recente principio della compressione preliminare) riesca adombrato il senso della persistente fruttuosità tecnico-teorica dell'antica ideazione.

SOMMARIO

1. Premesse.

2. Il motore B. e M. nella veste costruttiva assunta dall'esemplare monocilindrico presentato al Reale Istituto Lombardo.

3. Richiami alle prime proposte degli Inventori in base alla Memoria presentata nel 1853 alla Accademia dei Georgofili.

4. Genesi dell'idea del P. Barsanti ed esperienze di Barsanti e Matteucci, secondo la Memoria manoscritta conservata nell'Archivio Ximeniano.

a) Carattere della Memoria.

b) Testo e commento del Manoscritto Ximeniano.

5. Considerazioni sul carattere del motore e sulle ripercussioni termologiche della incompletezza della combustione.

a) Definizione dei caratteri del motore.

b) Ripercussioni sul rendimento dei cicli B. e M. concreti e sui limiti di rendimento dei cicli teorici della incompletezza (o delle difficoltà) di combustione, proprie dei cicli iniziati la combustione a pressione atmosferica.

6. Principio costruttivo di Barsanti e Matteucci, motore a precompressione e problemi di massimo rendimento dei cicli teorici.

a) Sulle prospettive tecnico-teoriche di una armonizzazione del funzionamento a stantuffo libero col funzionamento a precompressione.

b) L'ideazione di B. e M., il problema degli elevati rendimenti teorici dei processi di trasformazione di calore in lavoro e la seconda proposta del Diesel.

7. Ricapitolazione.

1. Premesse.

I. - I Revv. Padri Scolopi conservano in Firenze, negli Archivi dello Istituto Ximeniano, una numerosa serie di documenti relativi all'Invenzione del Loro illustre confratello, il P. EUGENIO BARSANTI, ⁽¹⁾ che, colla collaborazione di FELICE MATTEUCCI, ⁽²⁾ diede alla Tecnica il motore, il quale, opera più che saliente nella Storia delle Motrici termiche, ne riunisce i Nomi.

L'A. del presente scritto ebbe l'onore di esaminare quei documenti, intorno ai quali già scris-

(¹) Pietrasanta, 12 ottobre 1821 - Séraing, 19 aprile 1864.

(²) Lucca, 1808 - Firenze, 1857.

se, con precisione e rilievo, T. MARTINI ⁽¹⁾, desumendone, per la prima volta, elementi della storia della Invenzione meritevoli di adeguata divulgazione e commento.

La presente compilazione aggiunge alcune considerazioni di carattere termologico, suggerite specialmente da uno dei documenti, un prezioso Manoscritto, qui riportato; e, nel fatto, anonimo; ma, secondo la più assoluta verosimiglianza, dettato od ispirato dal P. Barsanti. Il Documento contiene la Storia sperimentale della invenzione; e sottrae l'invenzione stessa, altamente pregiandola, ad ogni presupposto di empirismo.

II. - Affinchè il commento del Manoscritto, che viene a costituire l'intento centrale di questa trattazione, non rimanga isolato, l'A. deve richiamare introduttivamente una comunicazione fatta nel 1927 a Padova ⁽²⁾ in occasione del I° Congresso del Motore; ne deve riprendere le necessarie notizie sulle costruzioni eseguite secondo *Barsanti e Matteucci* e su esperienze compiute su uno dei Loro motori (o su motori di costruzione successiva ed analoghi per funzionamento) onde richiamare l'attenzione dei Lettori ai quali l'antico motore è meno familiare. Egli deve anche richiamare l'attenzione sulle prime proposte degli Inventori, poichè ciò permetterà di rendere più esaurienti le considerazioni sul significato della invenzione che dovranno farsi successivamente al commento del manoscritto Ximeniano.

Il num. prec. ha già avvertito come il riconoscimento della circostanza che l'ideazione di B. e M. non fu in alcun modo il semplice risultato di avventurata genialità, ma riposata espressione di un principio (riprovato al vaglio di metodi

⁽¹⁾ Cfr. « *Breve storia del Motore Barsanti Matteucci* » Atti del Reale Istituto Veneto 1906 - 07, Tomo 76, parte II.

La Mem. è stata riassunta nella: *Rivista di Fisica, Matematica e Scienze Naturali* di Pisa, anno VIII (1907) n. 92. Deve aggiungersi che questo riassunto è corredato dalla riproduzione di una azione della Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci, la quale, essendo l'unica notoriamente esistente, acquista valore di documento di cospicua importanza, anche se non mancano altri documenti, attestanti della confortante circostanza, più volte messa in rilievo nel testo, dell'essersi raccolte intorno agli Inventori solidarietà fiduciose e fattive.

⁽²⁾ Cfr. Atti del I° Congresso Internazionale del motore a scoppio, Padova, 16 - 17 Giugno 1927 ed *Annali della R. Scuola d'Ingegneria di Padova* III. 1927.

che esperienze) che quel Documento concede di individuare. Questo fatto ha invitato a ricercare se combinazioni con principi costruttivi e funzionali di concezione più recente possano ancor oggi rendere manifesta la fruttuosità tecnico-teorica del principio medesimo; e la ricerca è stata compiuta in uno studio contemporanea compilazione ⁽³⁾, relativamente esteso e di indirizzo troppo particolare per poter essere compreso in questa trattazione, senz'alterarne le proporzioni, e senza, in qualche modo, modificarne l'intento principale.

Però nella parte di questo studio successiva alla trascrizione del manoscritto la materia di quella Nota, in quanto essa può servire a perfezionare, dell'opera di *Barsanti e Matteucci*, il commento e l'elogio, è riassunta in modo coordinato alla residua trattazione.

III. - E' dovere dell'A. porre in evidenza, prima di chiudere questi cenni di premessa, il culto professato in Toscana per l'Invenzione di *Barsanti e Matteucci*, culto, il quale fa degno riscontro all'assistenza morale e materiale che gli Inventori ebbero durante lo sviluppo dell'Invenzione stessa.

Risulta, a quest'ultimo riguardo, dai documenti Ximeniani (ciò che l'A. non aveva compiutamente esposto nella precedente compilazione) che gli Inventori ebbero onorevole riconoscimento dai concittadini durante il tempo, dolorosamente breve, in cui potè svolgersi la Loro attività. Così essi ebbero riconoscimento degnissimo da un grande corpo Accademico, come si ripeterà fra breve, e come fu ampiamente documentato nella prec. occasione.

Se quindi talvolta è giustificato il rammarico, che sia stato in tempi passati trascurato il germe di idee feconde, non sembra vi sia luogo ad un tale grave rammarico per il tempo in cui *Barsanti e Matteucci* dapprima, il P. *Barsanti* successivamente (per malattia del *Matteucci*) guidarono la costruzione del motore.

Riprendendo la deferente allusione alla risonanza che ancor oggi l'Invenzione conserva, è

⁽³⁾ Cfr. « *Considerazioni sul principio di termodinamica tecnica fondamento alla costruzione del motore italiano Barsanti-Matteucci* » Atti del Reale Istituto Veneto. Anno Acc. 1928 - 29 - T. LXXXVIII. P. 1^a.

obbligo di dire, e con ogni riguardo, affinchè l'Auspicato non abbia immeritatamente a pregiare la modesta compilazione, che il Culto della Memoria del P. Barsanti è eccelsamente professato dall'Eminentissimo Pastore che ne governa spiritualmente la Terra natale, e che suole compiacersi di fare della celebrazione dei nostri Sommi ornamento delle Proprie profonde meditazioni di Fisico.

A questa Insigne Tutela del Ricordo di Eu-

genio Barsanti è dovuto il dono della prima conoscenza del documento che desideriamo di illustrare e l'incoraggiamento a farlo.

E' dovere aggiungere che la consultazione fu favorita in ogni forma dall'illustre signor Direttore dell'Osservatorio Ximeniano, il Professore P. ALFANI, cui è solennità austeramente lieta il veder riaccendersi luci di riconoscimento per le benemerenzze, verso la Scienza e la Tecnica italiana, del proprio celebrato Confratello.

2. Il motore Barsanti e Matteucci, nella veste costruttiva assunta dall'esemplare monocilindrico presentato al Reale Istituto Lombardo.

I. - Fra i motori Barsanti e Matteucci costruiti, che, come è noto, furono quattro, presenta grande interesse, data anche la più esauriente documentabilità, l'ultimo, costruito a Milano dalle *Officine Bauer* (officine denominate: all'*Elvetica*, e di cui sono continuatrici le officine *Breda*). Del motore si ha, oltre che la fotografia riprodotta nella fig. 1, il rendiconto delle esperienze compiute il 5 e 6 giugno 1863 dalla Commissione (CODAZZA, HAJECH, MAGRINI) delegata dallo Istituto Lombardo, a cui il motore fu presentato e da cui esso ottenne l'onorevole riconoscimento ⁽¹⁾ a cui si alluse più sopra.

Dopo di aver detto che l'Archivio Ximeniano, come ha già messo in evidenza il Martini, permette di stabilire (risolvendo per noi un dubbio espresso nella precedente occasione) che il motore fu portato nella primavera del 1864 in Belgio, presso le Officine Cockerill, le quali dovevano eseguire, per incarico della Società Anonima del nuovo Motore Barsanti e Matteucci, un nuovo esemplare, e che una lettera del P. Barsanti riprodotta, in parte, dal Martini ricorda che il motore vi funzionò con successo, ritornando al concetto espresso nel § prec. osserveremo che il viaggio in Belgio del P. Barsanti, troncato dalla immatura Sua scomparsa, avrebbe dovuto aver ben altro carattere che non quello (che noi stessi ci eravamo permesso di supporre) del pellegrinaggio dello Inventore non compiutamente compreso.

Il P. Barsanti si era recato all'estero a dirigere, con insostituibile autorità, la riproduzione

del suo trovato, ormai fatto maturo, per incarico (e coi mezzi da loro largamente apprestati) di illuminati connazionali.

II. - Sulla struttura generale del motore e sul modo del funzionamento esiste un adeguato accenno nella Relazione della Accademia Lombarda, Essa, per quella parte che rappresenta la descrizione, verrà qui nuovamente trascritta. Tuttavia l'illustrazione del motore non potrebbe farsi convenientemente senza l'appoggio di un disegno in sezione.

A questo sopperiscono le figg. 2 a 6 mediante disegni che il prof. KÜHLMANN ⁽²⁾ derivò, nel 1867, da quelli del brevetto francese B. e M. (858). Gli elementi descrittivi del brevetto figurano già integralmente nella comunicazione precedente. Perciò le figure non necessitano più in modo assoluto di una nuova descrizione. Alla trascrizione già eseguita può infatti rinviarsi chi desideri approfondire, nei particolari, la funzione dei singoli organi.

La Relazione dello Istituto Lombardo stabilisce che:

« Entro un cilindro verticale si da moto a due stantuffi per contrari versi in guisa, che quando l'uno s'innalza l'altro si abbassa, e quindi ora si allontanano per l'intera corsa, ora si avvicinano fra loro fin quasi a contatto. Lo stantuffo inferiore ha per altro una corsa più breve del superiore, nè mai è libero trovandosi sempre collegato con l'asse motore. Il suo principale ufficio

⁽¹⁾ Cfr. *Atti del Reale Istituto Lombardo* Vol. III. pag. 403 e segg.

Il motore fu, con motivazione lusinghiera, premiato con medaglia d'argento.

⁽²⁾ Cfr.: « *Ueber Gaskraftmaschinen* » nelle: *Mitteilungen* del *Gewerbe Verein* di Hannover. Disp. 5, 1867, pag. 217 - 18 e segg.

consiste nell'aspirare la miscela gassosa; riceve poi anche gli impulsi della miscela esplosiva ».

« Nell'angusto spazio che rimane fra i due stantuffi ravvicinati, viene introdotta la miscela mediante cassetto avente due canali, uno in comunicazione col gaso-

senza scosse perniciose, all'impulso della forza esplosiva, e si allontana dall'altro fino al termine della sua corsa, ove per un semplicissimo congegno, va subito ad impegnarsi colla resistenza ».

« E come avviene che il corpo della pompa presto

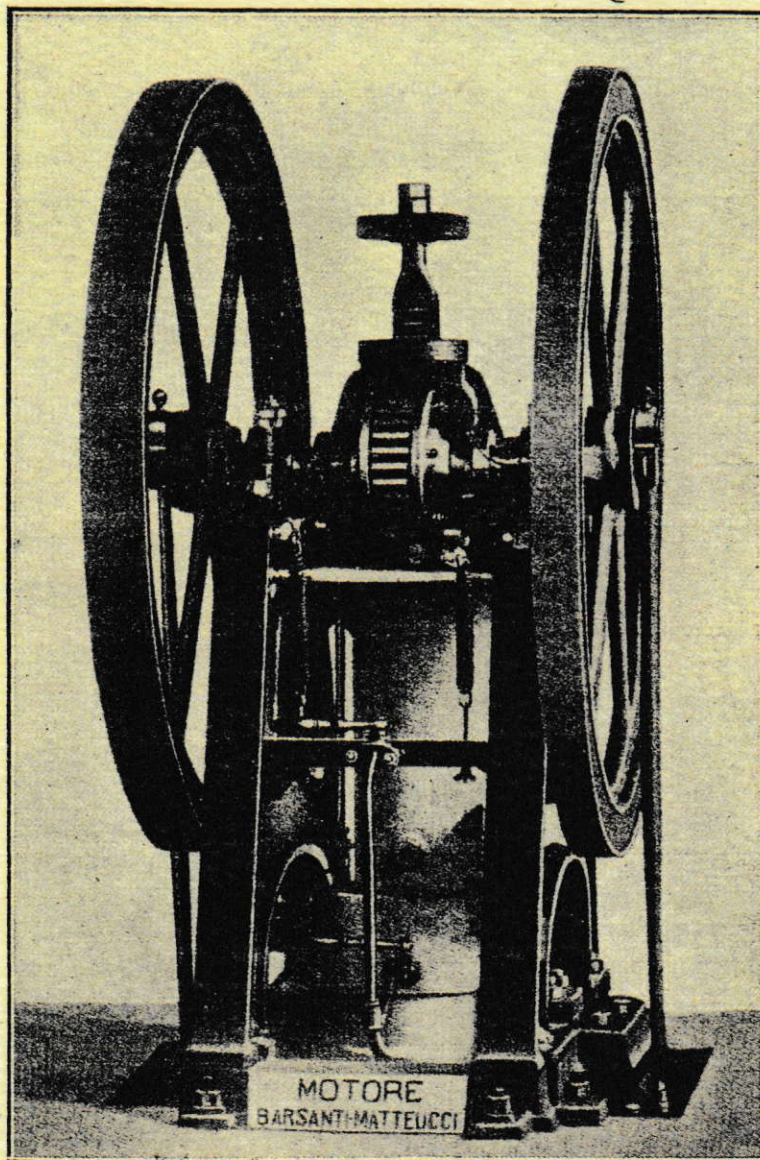


Fig. 1

Fotografia del Motore BARSANTI e MATTEUCCI di costruzione Bauer presentato (1863) allo Istituto Lombardo, portato successivamente in Belgio (1864) dal P. BARSANTI e sperimentato presso le officine Cockerill

(già riprodotta, nel trattato del GÜLDNER, dall'originale custodito negli archivi delle Officine Belge e distrutto durante la guerra).

metro, l'altro con l'atmosfera, ambedue muniti di valvola che si apre dal di fuori all'indietro per aspirazione. Questo cassetto è messo in moto da un eccentrico infisso sull'albero di un volante, e la miscela si accende con scintille tratte da un apparato elettro-magnetico di Ruhmkorff. All'atto dell'infiammazione, lo stantuffo superiore, trovandosi affatto libero, cede prontamente e

si scalda, così esso va munito di un involuppo, in cui circola l'acqua fredda che manda sprazzi continui anche nell'ampia camera formata dai due stantuffi. Ivi si condensano i gas ed i vapori; ivi si genera per conseguenza una rarefazione, che rende operativa sui medesimi stantuffi tutta l'acqua sotto pressione atmosferica, divenuta la forza motrice dell'apparato ».

« Un secondo cassetino mosso da un altro eccentrico infisso sull'albero del secondo volante, perfettamente uguale al primo, espelle dal corpo di pompa i prodotti della combustione. Si comprende che la forza motrice cessa di agire, appena i due stantuffi ritornano alla minore distanza ove di nuovo si introduce la miscela detonante; e per l'avvicinarsi di questo loro *va e vieni* si riproduce sempre l'effetto di raccogliere sui due volanti gli impulsi successivi, facendoli conspirare, ossia trasformando questi impulsi in un moto continuo circolare, suscettibile di esser versato in qualunque strumento produttore ».

III. - Disegno e descrizione mostrano come il motore possenga due stantuffi; e, cioè, lo stantuffo libero, che vedremo caratterizzare anche l'apparecchio sperimentale, ed uno stantuffo ausiliario, anch'esso rappresentato nell'apparecchio sperimentale, il quale aspira la carica e riceve anche « *gli impulsi della miscela esplosiva* ».

E' opportuno notare che la soluzione non è la sola la quale sia stata proposta dagli Inventori. Esiste infatti una proposta di soluzione (brev. franc. cit.) senza stantuffo ausiliario, sulla quale dobbiamo però evitare di fermarci, rinviando alla trascrizione fatta di quel brevetto, nella Nota prec. Faremo solo riserva di fare (Num. succ.) una osservazione di massima sull'argomento.

Riducendoci per ora alla soluzione veramente applicata, conviene rilevare, che, chi pensi il motore diviso in due da un piano di separazione

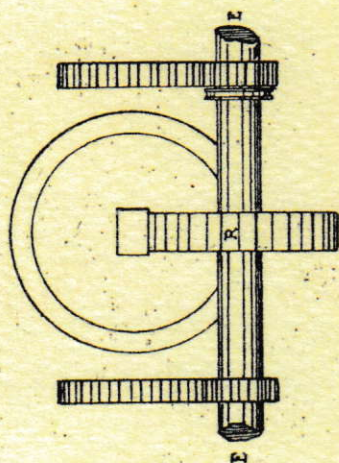


Fig. 5

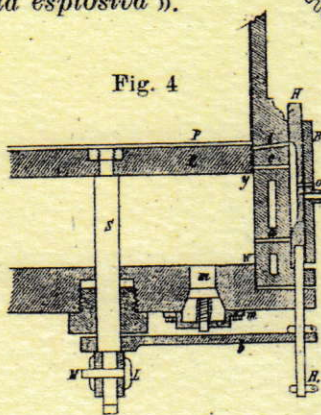


Fig. 4

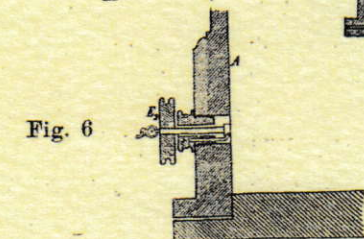


Fig. 6

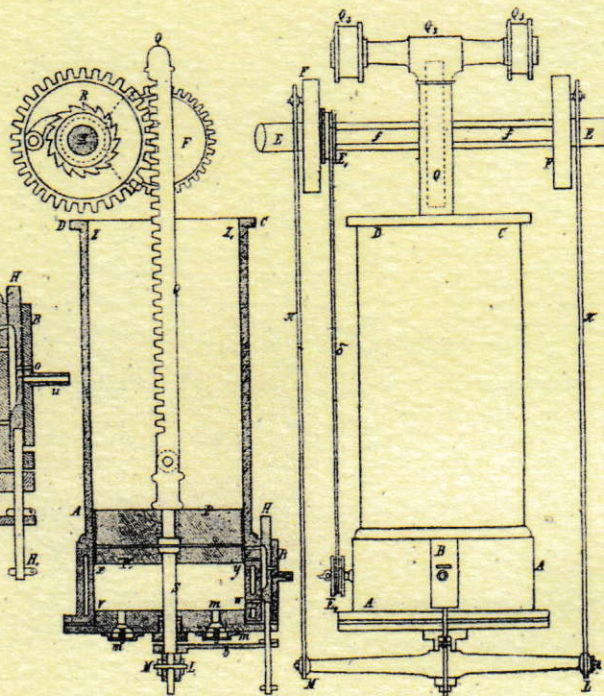


Fig. 2

Fig. 3

Figg. 2 a 6 - Motore BARSANTI e MATTEUCCI a stantuffo ausiliario secondo il brevetto francese (1858)

Le figg. 2, 3, 4 e 6 sono ricavate dalla cit. Mem. di KÜHLMANN, la fig. 5 (in scala diversa) dalla copia del brevetto)

Fig. 2: Elevazione e vista sui dispositivi di comando del cassetto inferiore, dell'accensione e della distribuzione.

Fig. 4: particolare della distribuzione.

Fig. 5: pianta del meccanismo di trasmissione del movimento.

Fig. 3: sezione principale del cilindro.

Fig. 6: dispositivo di accensione.

Il disegno del brevetto francese porta l'indicazione di una *scala di riduzione*. Esso pertanto dovrebbe corrispondere, se non al piano di un motore effettivamente eseguito, ad un progetto in proporzioni costruttive.

Leggendo le misure in scala, risulterebbe dal disegno, che al motore riprodotto dalle figure era stato assegnato un diametro di mm: 240; ed una altezza del cilindro (dalla faccia superiore dello stantuffo) di mm: 480 circa.

La stessa fig. 3 permette, d'altra parte, di rilevare che il rapporto fra la massima corsa possibile per lo stantuffo principale e la corsa obbligatoria dello stantuffo secondario è circa 7 ad 1.

Questo rapporto, se la fase di aspirazione durasse esattamente per tutta la corsa discendente dallo stantuffo ausiliario, condurrebbe a determinare l'estremo rapporto d'espansione possibile, nella misura di 1 ad 8. Come verrà ripetuto in una annotazione alla trascrizione del manoscritto, la variazione di volume prevista deve esser stata, nel fatto, ancora superiore, considerato che non tutta la corsa dello stantuffo inferiore è dedicata alla aspirazione.

Verrà rilevato inoltre che una variazione di volumi superiore a quella identificabile col rapporto di 1 ad 8 è in armonia col massimo dei rapporti che vedremo ottenuti nelle esperienze di cui renderà conto il Manoscritto Ximeniano.

Può ripetersi, dalla trattazione precedente, l'osservazione, che, nel disegno originale, considerato per quanto si disse, come riproduzione di un disegno costruttivo, lo stantuffo (cfr., anche la fig. 3) avrebbe uno spessore di circa 55 m/m. Perciò è forse lecito attribuirgli un peso dell'ordine dei 45 gr. per cmq., al quale però, ai fini della valutazione della resistenza opposta dallo stantuffo al sollevamento per effetto del suo peso sarebbe da aggiungersi il peso delle parti residue dell'equipaggio mobile.

Deve aggiungersi, che, nelle esperienze di MEIDINGER citate nel testo, il peso dell'equipaggio mobile del motore *Otto e Langen*, che aveva formato oggetto delle ricerche stesse, era di circa 100 gr. per cmq.

coincidente con un piano orizzontale intermedio ai due stantuffi (pensati nel punto interno delle rispettive corse) può considerarlo come risultato della combinazione di un motore ad azione diretta col motore a stantuffo libero.

Dopo di aver detto che lo stantuffo secondario esisteva anche nell'apparecchio descritto dal manoscritto Ximeniano, diremo che *Barsanti e Matteucci*, nel costruire il motore, animarono di moto incessante quell'organo, che nell'apparecchio sperimentale era l'aspiratore ed il misuratore della massa del miscuglio combustibile; e che, tenuto conto della legge dei movimenti dello stantuffo libero, essi lo legarono invariabilmente mediante bielle all'albero motore, determinando la lunghezza della corsa di queste bielle in modo da eccedere gli stretti bisogni dell'aspirazione. A questo si deve, se, provocata l'esplosione durante la corsa in uscita dello stantuffo ausiliario, questo, durante una parte della corsa stessa, funzionò come stantuffo ad azione diretta.

IV. - Per quanto concerne le due varietà considerate nel brevetto francese può dirsi, sciogliendo la riserva precedente:

1.° - Le questioni di priorità, superate, come fu ricordato nel 1927, da lungo tempo, sono a tanto maggior ragione evitate in questo scritto in quanto sembra ormai conveniente che l'Elogio del motore *Barsanti e Matteucci* si compia sulla base dei principi termologici anziché su esami di particolari costruttivi da cui esso Elogio uscirebbe diminuito.

Nondimeno deve dirsi che la soluzione senza stantuffo ausiliario è più prossima dell'altra alla soluzione costruttiva di Otto e Langen, come mise per primo in evidenza Kühlmann colla pubblicazione già citata.

2.° - Il funzionamento a stantuffo ausiliario offrirebbe a sua volta un titolo di rivendicazione di priorità in materia di trasmissione diretta. Ciò è fatto del resto rilevare nella Notizia a stampa in lingua francese (1864) sul motore *B. e M.* che è fra gli Atti Ximeniani ed è cit. anche in seguito. Ma anche la necessità di questa rivendicazione appare superata.

L'attenzione sul particolare costruttivo viene perciò richiamata per altro motivo.

Allorquando più tardi si porrà il problema tecnico-teorico della armonizzazione del funzionamento a stantuffo libero col funzionamento a precompressione, si alluderà anche ad uno schema analogo a quello del motore antico (salvo

limitazione di libertà dello stantuffo durante la compressione e la combustione).

In questo schema lo stantuffo ausiliario potrebbe funzionare come stantuffo ad azione diretta eseguente però un ciclo a precompressione.

L'analogia ora rilevata farà apparire quello schema meno lontano dallo schema costruttivo antico, a cui essa è, per quanto si viene dicendo atta, almeno parzialmente, a riportarlo.

V. - Le nozioni sul funzionamento possono chiudersi (dopo di aver richiamata l'attenzione sul processo di *iniezione d'acqua*, menzionato nella descrizione e la cui funzione raffreddatrice merita, come si ripeterà, una analisi particolare) con notizie sperimentali.

Abbiamo già detto, nella precedente occasione, per quali ragioni, secondo l'uso tecnico corrente e corretto, il motore *Otto e Langen*, la cui esecuzione, nelle fatalità che condussero all'abbandono dell'Opera di *Barsanti e Matteucci* noi amiamo considerare circostanza avventurata,

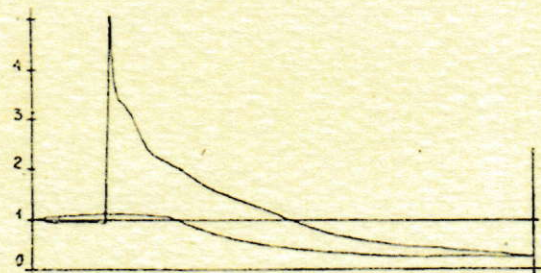


Fig. 7

Diagramma di indicatore di motore atmosferico *Otto e Langen* ricavato dal Trattato di SCHÖTTLER

(poichè essa dimostrò la vitalità della Invenzione e perchè inoltre concesse di raccogliere serie di risultati, i quali, se non sono rigorosamente coincidenti con quelli che avrebbe dato il motore italiano, certo vi si approssimano) si debba denominare motore a ciclo *Barsanti e Matteucci*.

Abbiamo, può dirsi, in armonia con questo concetto, chiesto di riprodurre dal Trattato dello SCHÖTTLER un diagramma di indicatore di motore *Otto e Langen*, per farci una idea precisa di quello che sarebbe stato il diagramma di cui non abbiamo esempi. Lo stesso diagramma rende conto dell'andamento della pressione in relazione con gli spostamenti dello stantuffo atmosferico (il solo stantuffo in questa esecuzione) e viene ripetuto nella fig. 7.

VI. - Intorno alle cifre di consumo del motore è necessario ripetere quanto segue:

Il motore diede un rendimento globale forse *quintuplo di quello di buoni impianti a vapore del tempo*; e, ciò che è in massima noto, *più che doppio di quello dei successivi motori ad azione diretta, senza precompressione*. Ancora, esso fu superato soltanto dopo più che due decenni, e solo nel corso della stessa evoluzione del motore ad azione diretta e compressione preliminare; non dunque, fra l'altro, dai primi motori a precompressione.

In cifre concrete, esperienze di MEIDINGER (1) su un motore Otto e Langen riferite nella precedente occasione, diedero, nel caso più favorevole, un rendimento globale superiore al sedici per cento. Accertamenti di CLERK (2) su altro motore dello stesso tipo accusarono un rendimento meccanico dell'ordine del 0.68%. Perciò dall'avvicinamento delle due cifre, il rendimento termico, ossia il rendimento della pura trasformazione di calore in lavoro nel motore a ciclo Barsanti e Matteucci, può valutarsi nell'ordine del 24 ÷ 25%.

E' stato anche detto che questo risultato serve ad avvalorare quello ottenuto dalla Commissione dello Istituto Lombardo, sperimentando sul motore rappresentato dalla fig. 1.

Essa Commissione registrò un consumo dell'ordine dei 500 litri di gas combustibile per cavallo ora. (3) Il consumo parve più tardi troppo piccolo (4). Se il combustibile fosse stato gas luce da 5000 Calorie per mc. esso sarebbe certo stato eccezionalmente favorevole; però BESO (5) spiega che si trattava di gas ricco (gas portatile) e che il consumo era ragguagliabile ad 800 litri circa di gas illuminante per cavallo e per ora.

Il consumo di circa 4000 Calorie per cav. eff.

(1) Motore da 1/2 cavallo, diam. 150 m/m; corsa massima: 980 m/m; frazione di corsa destinata all'aspirazione 103 m/m. Peso stantuffo ed asta: kg. 21,83 - esperienze del 1868.

(2) Motore di 317x1030 m/m in marcia con 28 doppie corse al 1', Potenza indic. = 2,93 cav. Pot. eff. = 2 cav. consumo senza fiammelle d'accensione (accensione a gas) 1020 litri per cav. eff. h. — p. m. i. = 0,585 Kg. cmq. — p. m. e. = 0,397 Kg. cmq. — Depressione finale 6/10 di atm.

(3) Il rendiconto delle prove è stata trascritto (dagli Atti dello I. L., loc. cit., pag. 406) nella Comunicaz. 1927.

(4) cfr.: « Rapporto sopra un nuovo motore igneo pneumatico proposto dal sig. Babacci » Relaz. dell'I. L. Vol. II (1865) pagg: 107 e 138.

(5) Cfr. « Le grandi invenzioni antiche e moderne » Milano, 1869 E. Treves e C. Vol. II, pag. 127 e segg.

Anche per riferimento o consultazione nel corso

che se ne ricava corrisponde, in realtà, ad un rendimento globale dell'ordine del 16%.

Il risultato viene dunque in tal modo ad accostarsi, come ordine di grandezza, al consumo del motore di costruzione germanica.

dell'esposizione successiva, tenute presenti le allusioni del Manoscritto a combustibili di varia composizione, e alle ricerche compiute su di essi con varie proporzioni d'aria; tenuta, d'altra parte, presente una allusione che si farà prima di finire a cicli idealmente percorsi impiegando, nelle proporzioni teoriche d'aria, un gas della natura di quello a cui si riferirà la seconda tabella qui ripetuta, è conveniente trascrivere dal Trattato di GÜLDNER due tabelle contenenti caratteristiche medie derivate da alcuni esempi: di *gas illuminante*, l'una; di *gas ricco (gas grasso o gas d'olio)* l'altra (questo ultimo gas, derivante dalla distillazione d'oli pesanti, verosimilmente avvicinandosi, come composizione e proprietà, al cit. *gas portatile*).

GAS ILLUMINANTE: Analisi, potere calorifico e fabbisogno d'aria di combustione secondo una media di GÜLDNER.

Analisi per 1 m. c.			Potere calor. infer. Cal.	Fabbisogno teorico d'aria	
Componenti	in mc.	in kg.		in mc.	in kg.
Idrogeno	0,485	0,0435	1246,5	1,145	1,480
Metano . . (C H ₄)	0,350	0,2504	2980,0	3,285	4,260
Ossido di carbonio .	0,070	0,0876	213,5	0,165	0,212
Idrocarburi pesanti (C ₂ H ₄)	0,045	0,0563	626,0	0,639	0,820
Anidride carbonica .	0,020	0,0393	—	—	—
Ossigeno	0,025	0,0036	—	-0,012	-0,015
Azoto	0,0275	0,0345	—	—	—
In assieme:	1,000	0,5152	5066,0	5,222	6,757

GAS D'OLIO: Analisi, potere calorifico e fabbisogno di aria di combustione secondo una media di GÜLDNER.

Analisi per 1 m. c.			Potere calor. infer. Cal.	Fabbisogno teorico d'aria	
Componenti	in mc.	in kg.		in mc.	in kg.
Idrogeno	0,056	0,005	144	0,132	0,170
Metano . . (C H 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	12,10

Nella storia ormai più che bisecolare della lotta per gli elevati rendimenti nelle trasformazioni industriali di calore in lavoro (qualora forse si faccia eccezione pel momento della realiz-

zazione del motore Diesel) nessuno dei successi volta a volta realizzati portò ad un aumento di rendimento dell'ordine di quello ottenuto da *Barsanti* e *Matteucci*.

3. Richiami alle prime proposte degli Inventori in base alla Memoria depositata nel 1853 alla Accademia dei Georgofili.

I. - Fu ricordato in occasione del Congresso, che il primo documento il quale parli del motore è una Memoria, il cui originale, custodito oggi nell'Archivio Ximeniano, fu depositato in forma di plico suggellato alla Accademia dei *Georgofili* di Firenze nella seduta del 5 giugno 1853; e, aperto, su domanda degli Inventori, nella adunanza ordinaria del 20 settembre 1863, fu pubblicato negli Atti della R. Accademia (1).

E' necessario, riprendendo ora l'argomento, coll'intento già segnalato, trascrivere ancora una volta i Passi di quella Memoria, i quali hanno maggiore importanza, anche per chi si proponga lo studio del documento sperimentale.

II. - La Memoria dei *Georgofili* prevedeva, come è noto, quattro ordini di realizzazioni.

Essa infatti parlava di un'esperienza compiuta mediante un motore il cui elemento essenziale era formato da un cilindro chiuso verticale (sul cui lato inferiore avrebbe dovuto avvenire l'esplosione di un miscuglio combustibile) munito: « *il coperchio o fondo superiore del cilindro... di scatola stoppata* » (per prevenire la sfuggita dell'aria) « *la quale, venendo compressa dall'urto e ridotta nella tensione di più atmosfero, reagisce 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 particolare costruzione* ».

Secondo la Memoria, il sistema era già stato sperimentato, ma i risultati non erano stati soddisfacenti, per l'incompiuta espansione dell'aria. Si riusciva a comprimere l'aria stessa fin verso le quattro atmosfere, realizzando però solo un imperfetto ritorno dello stantuffo.

E' notevole l'accenno ad « *ingranaggi o meccanismi di speciale costruzione* » atti a concedere

la trasmissione solo nel ritorno, in conformità al concetto costruttivo che doveva rimanere caratteristicamente dominante.

III. - Il secondo sistema, che gli Inventori escogitarono, fu quello di comprimere l'aria in modo analogo a quello previsto nel caso precedente; ma non coll'identico scopo, e cioè: « *per l'oggetto di cacciarla per mezzo di un tubo addizionale munito di valvola che si apre dal di dentro al di fuori in una così detta cassa d'aria, dalla quale, come si fa del vapore, si potrebbe passare in due cilindri che non differirebbero da quelli delle macchine attualmente in uso* ».

Una valvola automatica di aspirazione avrebbe dovuto, come si aggiunge riassumendo il passo relativo, consentire l'aspirazione dell'aria, all'atto della discesa dello stantuffo, sulla faccia superiore dello stantuffo stesso.

Può dirsi (per mantenere fissa l'attenzione sul concetto costruttivo della trasmissione risolvibile durante l'ascesa) che questo caso è il solo che non imponesse la necessità dello studio dello speciale dispositivo, dato che lo stantuffo rimaneva costantemente libero.

IV. - Il terzo sistema, riguardava l'impiego di un cilindro aperto nella parte superiore; e si proponeva di fare « *allungare allo stantuffo nella sua ascensione un sistema di molle o di altri corpi elastici, che, cessata la impulsione, reagendo colla forza ricevuta sullo stantuffo stesso, lo rendano capace di produrre l'effetto utile nel suo ritorno* ».

L'ultimo sistema proponeva, ricorrendo ancora ad un cilindro aperto, di « *assegnare al cilindro tale lunghezza e capacità che la forza espansiva non giunga a cacciar fuori di esso lo stantuffo* ». Gli Inventori ritenevano che: « *in questo caso nell'andata si formerebbe un vuoto sotto lo stantuffo e la forza utile... sarebbe la pressione atmosferica sulla di lui base* ».

(1) Cfr. Continuazione degli atti della R. Accademia dei *Georgofili* 1863, nuova serie, volume X. disp. IV, pagina CXXXII e segg.

Essi stabiliscono che, per il terzo sistema, erano state ordinate le molle necessarie; e dicevano, che *il quarto non sarebbe stato sperimentato altro che nel caso in cui fossero falliti i sistemi precedenti*; ossia, come noi possiamo soggiungere, qualora fossero fallite le prove col terzo sistema, dato che il primo era escluso e per il secondo sembra si disperasse di avere a disposizione i mezzi d'opera necessari.

V. - Fu già detto nella N. presentata al Congresso, ed è conveniente ripeterlo ora, che, nella primavera del 1853 (all'atto del deposito del plico ai Georgofili) la 4^a soluzione, che veniva considerata come risorsa estrema, non aveva forse ancora guadagnato la piena convinzione degli Inventori nei riguardi della propria superiorità; ma che tuttavia l'esitazione fu breve, in quanto, *nella primavera successiva*, secondo la specificazione presentata all'ufficio dei brevetti inglesi ⁽¹⁾ e riprodotta nella prec. occasione, la soluzione *aveva già preso il primo posto nelle rivendicazioni*. Accanto ad essa un secondo posto era assegnato soltanto a quella soluzione per mezzo di una macchina ad aria compressa, la seconda della Mem. dei Georgofili, la quale, per ragioni contingenti, come abbiamo visto alla fine del n. IV, era apparsa di meno facile sperimentazione ⁽²⁾.

⁽¹⁾ La domanda di brevetto inglese a cui qui si allude è infatti del 13 Maggio 1854.

Risulta dalla Raccolta dell'Archivio Ximeniano (secondo la trascrizione di una Memoria pubblicata nell'*Engineer*) che, nel 1857, fu chiesto un secondo brevetto, il quale sembra debba coincidere (la trascrizione non è infatti corredata di figure le quali permettano di asserirlo con sicurezza) col brevetto francese del gennaio 1858).

4. Genesi dell'Idea del P. Barsanti ed esperienze di Barsanti e Matteucci secondo la Memoria manoscritta conservata nell'Archivio Ximeniano.

a) Carattere della Memoria.

I. - Il documento, al quale abbiamo ripetutamente alluso, rappresenta l'abbozzo di una Memoria, che, come si vedrà dal suo contesto, avrebbe dovuto esser seguita da una, o forse da più altre, destinate ad addentrarsi maggiormente nei particolari.

La Memoria, nel suo carattere di abbozzo non

Delle altre due soluzioni non era più cenno. Ciò significa che, a prescindere definitivamente dalla prima, la terza (stantuffo libero superiormente ed impiego di corpi elastici come accumulatori di energia durante l'ascesa dello stantuffo) se era stata sperimentata, aveva escluso la possibilità di dare risultati soddisfacenti.

VI. - La nuova citazione della Mem. dei Georgofili ci rinnova la conoscenza di quella che diremo la storia della massima costruttiva del motore. Il richiamo alla diversità intercedente fra il raggruppamento (o la successione) delle soluzioni nominate nella Memoria suggellata e nel brevetto inglese finisce di motivare l'osservazione (ripetuta introduttivamente) che gli Studi sperimentali di *Barsanti e Matteucci* dovevano, sull'inizio del 1854, aver già dato i loro frutti decisivi per la questione primordiale del tipo del motore più conveniente.

⁽²⁾ Questa soluzione fu attuata intorno al 1864 da BARGAGLI. Il motore allora costruito rimase conservato in apposito locale nel palazzo dei marchesi Bargagli - Petrucci a Firenze e costituisce oggi uno dei cimeli i quali furono esposti alla Mostra fiorentina di Storia della Scienza. Il motore, del quale il Prof. Ing. A. Picchi curò anche la rappresentazione grafica, e per il quale deve nutrirsi fiducia abbia ad essere composta una Memoria storico-descrittiva, appare di disegno elegante e non differisce, nelle linee generali, da una motrice semifissa. In esso però alla caldaia è sostituito il serbatoio di aria compressa, raddensata dagli stantuffi (liberi) nei due cilindri ad esplosione. Questi ultimi, nell'aspetto esterno di due colonne di sostegno, sorreggono il serbatoio d'aria, con cui direttamente comunicano attraverso una valvola di ritegno, eliminando ogni tubazione intermedia. Sopra il serbatoio, come la precedente allusione lascia in parte intravedere, è disposta una macchina a cassetto, simile ad una macchina a vapore e però animata dall'aria compressa.

compiutamente ultimato, ha qualche lacuna ⁽³⁾ e poche ripetizioni, di cui ci facciamo lecito avvertire, ad onta che le lacune non scemino l'interesse e le ripetizioni abbiamo, in definitiva, il pregio di confermare osservazioni già formulate. La Memoria non è nè firmata nè datata, nè il ca-

⁽³⁾ Intendasi: lacuna nella continuità del Manoscritto, non lacuna nel senso concettuale.

rattere calligrafico di chi la scrisse può identificarsi con quello del *P. Barsanti*. Ciò non toglie la verosimiglianza che essa sia stata dettata da Lui, che, come risulta da uno dei documenti dello Archivio, era seriamente sofferente nelle facoltà visive, e perciò era stato fatto assistere da un aiutante tecnico anche nei Suoi lavori di Officina.

Ammesso tuttavia per un momento che il documento non emani direttamente dal *Barsanti* (l'emanazione diretta pur rimanendo l'ipotesi più probabile) è certo che esso non può emanare che da un intelligente interprete del Suo pensiero e da persona iniziata alle ricerche da Lui istituite, perfettamente in possesso dei concetti e del linguaggio scientifico del tempo.

II. - Per ciò che riguarda la data, il manoscritto può dirsi veramente esplicito. Infatti, il manoscritto stesso, alludendo alle condizioni generali di sviluppo delle scienze sperimentali all'epoca della propria compilazione, si riferisce alla data (1852) dell'inizio delle esperienze, come ad epoca distante, « poco più di un decennio ». Dato che il *P. Barsanti* scomparve nel 1864, e date le ragioni che conducono a presupporre che la Memoria sia stata veramente dettata da Lui; dato ancora, che, nello smarrimento che seguì la scomparsa, nulla fu operato per la realizzazione delle Sue idee, la data più tarda che si possa presupporre appare il 1864. Però è piuttosto da opinarsi che la compilazione risalga al 1863, poichè nei primi mesi del 1864, e forse anche negli ultimi dell'anno precedente, il *Barsanti* fu occupato nel predisporre l'ulteriore costruzione del suo motore, come risulta da lettere (conservate dall'Archivio Ximeniano) da Lui scambiate con case costruttive, nelle trattative le quali preludevano al Suo viaggio all'estero.

III. - Il carattere scientifico della Memoria esclude che essa fosse destinata ad essere adibita a forme di propaganda. Essa sembra piuttosto destinata ad una Sede Accademica. Ciò aveva indotto a pensare che si trattasse di una Nota preparata nel 1863, nell'occasione solenne della presentazione della macchina al R. Istituto Lombardo (ove il motore fu esaminato, come è noto il 5 e 6 giugno) se non altro ad informazione dei Commissari. Gli archivi del R. Istituto non ne conservano, però traccia. Non rimane che ritenersi, ove si voglia insistere, che la Memoria sia

stata presentata alla Commissione come documento esplicativo di carattere non ufficiale.

Altro incentivo per la presentazione della Memoria avrebbe potuto forse essere nello stesso anno (29 settembre) il ritiro del plico dei Georgofili, in quanto la Mem. avrebbe potuto sostituire in quella Sede Accademica le prime affermazioni, giustificando le ragioni che avevano portato ad escludere le prime tre soluzioni inizialmente proposte.

Ad ogni modo non è necessario insistere ulteriormente in induzioni. La sola cosa che è conveniente ripetere, in quanto essa può avvalorare indizi già riferiti (anche per la data del documento) è quella che l'Archivio Ximeniano conserva la cit. notizia a stampa in lingua francese, impressa nel 1864 (notizia, che, verosimilmente, il *P. Barsanti* dettò alla vigilia della Sua partenza per il Belgio) onde poter aggiungere che questa notizia reca nella sua frase introduttiva, la traduzione fedele delle parole introduttive del manoscritto Ximeniano. Qualche altro ricorso di concetti si trova anche in un suo passo successivo.

IV. - Il documento viene ricopiato integralmente nelle pagine seguenti, colla sola eccezione dei passi, che, come fu detto, appaiono ripetuti. Questi vengono semplicemente parafrasati, ad evitare il senso di minor continuità di concetti, che il Lettore potrebbe risentire per la loro inclusione.

La trascrizione viene, arbitrariamente, e nell'intento di renderne meglio evidenti i passaggi dall'uno all'altro argomento, suddivisa in §§ brevi, disponendo, in corrispondenza di ogni divisione, l'indicazione della materia delle varie sezioni così ottenute.

Ad un commento analitico è provvisto mediante annotazioni a piedi pagina.

La prima di queste annotazioni cercherà di render conto di quello che poteva essere, al tempo dell'inizio degli studi di *Barsanti* e *Matteucci*, lo sviluppo di quelle dottrine, che le indagini sul motore venivano ad interessare.

L'annotazione può apparire eccessivamente diffusa avuto riguardo alle strette necessità del commento. Però a noi sembra, che la definizione dei caratteri dell'Invenzione, che è il nostro obiettivo finale, non possa risaltare compiutamente, date le contingenze di tempo nelle quali il motore fu ideato, se essa non si appoggia, da un lato, sullo stato delle conoscenze scientifiche in

un'epoca nella quale lo studio delle motrici termiche non si era ancora distaccato, nella specializzazione dei Cultori, da quello della fisica (del quale esso era espressione tanto pura da far sì che ad esso si siano ispirate formulazioni fondamentali anche per la fisica teoretica) e non si riferisce, dall'altro lato, alle successive concezioni salienti nella storia del motore a combustione.

A queste ultime, per raggiungere intenti già espressi, dovrà alludere la seconda parte della trattazione.

b) Testo e commento del Manoscritto Ximeniano.

Premesse

« 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 incendiata dalla scintilla elettrica.

(¹) Ci accingeremo, secondo il proposito fatto a riunire notizie atte, anche senza presumere di esaurire l'esteso ed elevato argomento, a lasciar trasparire, col loro avvicinamento, quello che era lo stato delle nozioni scientifiche, che interessano lo studio del problema che ci occupa nell'Epoca in cui il P. Barsanti iniziò le proprie ricerche.

Incominceremo col dire che a quel tempo il concetto di *energia*, inteso non solo in armonia col principio della equivalenza (di calore e lavoro), ma con inclusione del principio correlativo della Termochimica, doveva esser sul punto di fissarsi soltanto con lacune, e, ad ogni modo, non doveva aver trovato se non in casi eccezionali Applicatori che se ne fossero serviti con convinta perfezione.

Può valere il ricordare, che il primo principio della termodinamica, ben chiaramente intravvisto da CARNOT, (come fu rivendicato, da tempo relativamente breve, a questo Fisico) fu effettivamente enunciato nel 1842 da MAYER e non subito incondizionatamente accolto. Esso fu più tardi (1847) riespresso e precisato da HELMHOLTZ. Nel momento in cui si iniziarono le esperienze di Barsanti, esso era stato da poco avvalorato (1850) dalle verifiche di JOULE. La definizione dell'energia cade esattamente nel tempo d'inizio delle ricerche (W. THOMSON 1852).

Venendo al secondo degli elementi accennati: la 1^a legge fondamentale della termochimica era stata espressa (HESS 1842) alquanto prima della stessa enunciazione del primo principio della termodinamica. Però essa non era stata ancora nè approfondita, nè generalizzata, onde non era possibile porre nei suoi termini rigorosi il bilancio termico del ciclo di trasformazione.

A render agile l'impiego del concetto di energia e di quei principi si rendeva necessaria oltre che la conoscenza delle formulazioni, la sicura disponibilità di costanti accuratamente determinate.

Noteremo, del resto, subito che l'A. del manoscritto

« L'apparecchio che serviva a questa esperienza era un elissoide 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* allorchè 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 ad anche totalmente in calorico (¹).

osserva che la forza esplosiva può esser regolata nei suoi effetti dinamici qualora si forzi una parte oppure anche la totalità a trasformarsi in calorico. Egli dunque non parla di energia ma di forza. La questione è, in questo, assolutamente formale. Indipendentemente dalle possibili espressioni arcaiche nel linguaggio scientifico, il concreto senso di *equivalenza fra energia termica ed energia meccanica appare* qui, come nel resto del manoscritto, *chiaramente sentito e decisamente espresso*.

L'accenno alla condizione degli studi fisico-chimici nel periodo in cui il Barsanti e Matteucci eseguirono le loro esperienze (esperienze, le quali, per quanto fu detto, verosimilmente diedero risultati conclusivi già alla fine del 1853, od all'inizio del 1854) può essere ampliato.

Dopo di aver fatto le precedenti citazioni si può dapprima vedere in una testimonianza autorevole quale fosse al tempo in cui cessarono le esperienze di Barsanti e Matteucci (al tempo cioè in cui presumibilmente il manoscritto fu dettato) la condizione di diffusione e di applicazione dei principi stessi, ivi incluso il secondo principio, o principio di Carnot (1824) negli studi di termodinamica tecnica, trascrivendo dalla Comunicazione precedente alcuni Passi del discorso tenuto allo Istituto Lombardo nel gennaio 1853 dal Prof. Magrini (uno dei tre commissari, che, come abbiamo visto, giudicarono, il motore), in commemorazione di L. DE CRISTOFORIS. Avvertiremo che i Passi citati si riferiscono alla proposta dello Studioso milanese di costruire una motrice a combustione con precompressione e combustione fuori del cilindro motore.

Disse l'A. cit.:

« Ciò diede occasione al Professore BELLÌ di stendere negli ultimi anni della sua vita una dottissima Memoria su questo interessante argomento, Memoria inedita di cui io posseggo l'autografo.

41 tamento, 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 oscuro-
50 rissimo velo che niuno ardiva sollevare. A questo

espansione. Per questo, ed in quanto il rendimento del ciclo può ritenersi approssimativa funzione *del rapporto di espansione*, l'apparecchio apparisce, oltre che apparecchio integratore delle quantità di lavoro rese, per chi giudichi coi criteri a cui siamo assuefatti, (e per privilegio di *sistema a rapporto di espansione variabile*) anche un indiretto indicatore di *rendimento termico*.

La ricerca non si può dire, del resto, nel diversificarsi dei risultati ottenibili con diversa proporzione d'aria, ricerca grèggia delle massime corse.

Noi vedremo infatti fiancheggiata la ricerca delle massime corse anche da una ricerca sulle massime pressioni di esplosione. Da essa ricerca emerse, fra l'altro, che i massimi si ottenevano con « *idrogeno bicarbonato* » puro mescolato con proporzioni teoriche d'aria.

Se fosse avvenuto che, nei casi in cui, con moderate proporzioni d'aria, si ottenevano pressioni d'esplosione più elevate, *il maggiore impulso iniziale avesse determinato escursioni maggiori*, gli Sperimentatori, combustibile per combustibile, avrebbero certamente risoluto la questione di rendimento, scegliendo le condizioni di minimo consumo, anche con sacrificio sulla misura della resa di lavoro per ogni singola esplosione.

L'osservazione ci dà però modo di preannunciare che, come si vedrà in una annotazione successiva, ed in modo conforme con quanto sembra emergere dal testo del manoscritto, *il massimo di corsa non si ebbe se non con quelle che risultarono le proporzioni più favorevoli*; e che si dovette piuttosto avere una relativa *persistenza nel valore massimo della corsa*, al variare, in misura abbastanza larga (ed in senso crescente) delle proporzioni di combustibile, che non coppie di massimi.

Ne indurremo, a suo tempo, che intervenivano, compensazioni fra la diversa grandezza dell'impulsione iniziale e le entità delle combustioni tardive.

Non manca pertanto, e la mancanza ha, per molti riguardi, preponderante significato accademico, se non il riferimento assoluto del lavoro ottenuto alle quantità di calore impiegato (ai poteri calorifici dei differenti combustibili). Questo riferimento, che i tempi non concedevano ancora, manca, come si è visto, nella stessa relazione dello Istituto Lombardo. Della sua mancanza uno degli Illustri Commissari rende quasi implicita ragione nel Passo della Commemorazione di LUIGI DE CRISTOFORIS da noi trascritto.

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 8 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, (1) portato lo stantuffo al punto di riunione delle due

In noi è oggi, raccogliendo il pensiero, possibilità di analisi termochimiche e termologiche meglio approfondite. Dalle prime soprattutto discende la possibilità di valorizzare, anche senza uscire dall'ambiente dei suggerimenti del manoscritto, artifici atti a migliorare la combustione, tipico fra l'altro quello del *creare un vincolo allo stantuffo durante la combustione stessa*. In questo artificio, come ripeteremo, sembra di veder talora culminare in interesse l'avvicendamento delle circostanze vagliate dagli sperimentatori, quando si vogliono studiare le conseguenze teoretiche del principio della sovraespansione da Essi concretamente consacrato.

(1) Siamo in obbligo di far risaltare la circostanza che l'apparecchio sperimentale, nella sua prima esecuzione (e, certamente, anche nella seconda successivamente descritta, dato che il documento parla di inerzia, ma non di peso dello stantuffo) era disposto orizzontalmente.

Il motore, invece, ebbe struttura verticale ed accumulò una parte di energia per gravità. Ricordiamo che, tenuto conto di quella accumulazione, lo denominammo nella precedente occasione: *motore gravi-atmosferico*.

Abbiamo esitato attualmente nel ripetere la denominazione, perchè ci sembra, che, approfondita l'analisi, non possa farsi luogo alla denominazione stessa senza qualche riserva. Questo, non tanto per la considerazione del carattere della accumulazione di energia per gravità, quanto per il modo con cui deve essere inteso il concetto di funzionamento *atmosferico*, che noi dovremo differenziare dal concetto funzionale dei motori, che avrebbero dovuto animarsi traendo essenzialmente partito da una depressione ottenuta entro al cilindro per espulsione di una parte dei prodotti di combustione, seguita da raffreddamento, o, comunque, da quello della depressione esclusivamente ottenuta per via di raffreddamento.

Limitandoci al nostro argomento (e cioè, alla questione della disposizione) per ritornare diffusamente sulla questione funzionale nel commento successivo alla trascrizione, avvertiamo che la disposizione orizzontale, in una analisi di massima del fenomeno della combustione esplosiva di una miscela gassosa, evitava la complicazione energetica portata dal peso dello stantuffo (per quanto si sia visto nella Comunicazione precedente comprovato

4 sezioni, introdotta ed incendiata nella camera detonante la mescolanza d'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 movimento oscillatorio che andava ben presto a cessare.

70 « Il primo di questi movimenti era evidentemente prodotto dalla forza espansiva del miscuglio detonante e bastava a provare che questa forza era assai limitata, dacchè non riusciva, nonchè ad espellere il detto stantuffo dal cilindro, nemmeno a fargliene percorrere una gran parte. Il secondo movimento dovevasi manifestamente attribuire al vuoto lasciato dietro di sè 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.

90 « 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

da esperienze del Prof. BERNARDI che, almeno entro certi limiti, uno stantuffo di massa sensibile può non esser sfavorevole anche nella disposizione verticale).

Prescindendo qui da ogni osservazione sui limiti ancor convenienti di peso dello stantuffo nella disposizione verticale, ci restringeremo unicamente al contrapposto greggio della disposizione verticale del motore effettivo rispetto a quella orizzontale dell'apparecchio sperimentale, per fare una osservazione sulle ragioni che possono aver guidato Barsanti e Matteucci, nel trasformarsi da Ricercatori in Costruttori, a prediligere la disposizione verticale.

Noi riterremo possibile che sia stata accertata, o presupposta, una relativa indifferenza nella misura dei rapporti di espansione; e che Barsanti e Matteucci abbiano desiderato che il peso dello stantuffo favorisse il rapido scarico dei prodotti della combustione dal motore ed assicurasse il compiuto ritorno automatico dello stantuffo libero (il suo peso vincendo la contropressione che i residui della combustione avrebbero opposto a scarico aperto).

La leggera contropressione nel momento dello scarico si avrebbe, ed è, nel caso di un motore a stantuffo libero, di natura diversa da quella che si avrebbe nel caso di un motore a stantuffo libero.

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 con un diametro interno $0^m,16$ e della lunghezza di $1^m,20$. (1) 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 contro stantuffo 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 Delarive, sfregamento che effettuavasi nella camera detonante per mezzo di un congegno opportunamente applicato all'esterno del cilindro.

Obiettivo delle determinazioni.

« Questo nuovo apparato riprodusse in più grandi proporzioni e con maggiore regolarità e co-

peso dello stantuffo poteva dunque veramente attivare lo scarico, vincendo quella contropressione.

(1) Carattere differenziale di questo apparecchio è dunque la possibilità di misurare la carica e la facoltà di espellere compiutamente i residui, conservata, come si vide, anche nel motore.

Viene fatto di rammentare che l'espulsione compiuta dei residui (alla quale si è ora ritornati con processi di spostamento per insufflazione, a carico ultimato, di aria a bassa pressione) caratterizzò, prima dell'avvento dei motori a precompressione, anche i motori ad azione diretta, e che GÜLDNER attribuisce, come fu ricordato nella comunicazione precedente, la riuscita non felice di un primo tentativo (1861) di OTTO di creare il motore a quattro tempi ad un dispositivo complicato (applicazione di controstantuffi a cuscinio d'aria) destinati a liberare la camera di compressione del motore dai residui del ciclo precedente. La citazione si ricorda, in quanto all'accennato insuccesso vengono attribuiti come conseguenza indiretta studi compiuti dall'Inv. cit. sul motore atmosferico; e (1867) la non felice realizzazione del motore a stantuffo libero.

129 stanza i fenomeni osservati nel primo, ed attesa
130 la facilità di variare in qualsivoglia misura tan-
to 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 pro-
dotta dalla detonazione dei miscugli gassosi, nel
modo che ora brevemente esporremo, riserbandosi
a pubblicare in seguito con maggiore particola-
rità gli importanti risultati ottenuti da nume-
rosissimi esperimenti (1).

Esperienze con aria ed idrogeno.

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

« In principio il gas adoprato era idrogeno
puro, mescolato con aria atmosferica nella pro-
150 porzione di 1 a 5, (2) proporzione che, come ognu-
no sa, è necessaria affinché la combustione del-
l'idrogeno risulti completa. Così si venne a scuo-

(1) A questa riserva di compiere ulteriori comunica-
zioni, che, come si vedrà, si trova riespressa nel corso
del manoscritto, fu già alluso introduttivamente.

(2) Per l'accordo coi valori relativi all'Idrog. delle
due Tab. trascritte è indispensabile rilevare, che (senza
che la differente indicazione si ripercuota, comunque, sul
significato delle esperienze, visto che esse hanno dato il
risultato ottimo nella marcia colle proporzioni d'aria
accresciute fino a 7 volte il volume del gas, ossia fino a
circa il triplo del valore teorico) che il volume d'aria
teoricamente necessario, per la diatomicità della mole-
cola di ossigeno, assume un valore alquanto inferiore
alla metà del valore approssimativo indicato nel testo.

Affinchè esuli dal rilievi qualsiasi carattere di irri-
verenza, è doveroso aggiungere, che l'insigne Sperimenta-
tore della Pistola di Volta era certamente Maestro in
questo ordine di conoscenze. Perciò il Manoscritto, il
quale non è che un appunto non ultimato (del quale noi
ci arbitriamo di superare, con intento di onoranza, il
carattere di Opera non compiuta) non può che portare,
nella indicazione a cui si riferisce questa nota, la trac-
cia di una semplice differenza di trascrizione.

Attribuendo all'aria il 78,67 % in volume di azoto,
si ha un volume di ossigeno per ogni 4,688 volumi d'aria.

(3) Non è inverosimile, fatte tutte le riserve (in
quanto non possiamo presumere di supplire con nostro
arbitrio alla lacuna derivante dalla interruzione di que-
sto periodo) che il Manoscritto abbia voluto alludere
alla circostanza che le piccole cariche davano risultato
comparativamente meno pronunciato delle grandi. La
supposizione si appoggia sul concetto che tutte le distra-
zioni di energia, in un motore regolato per riduzione
della quantità della miscela che lo alimenta, tendono ad

pire che le piccole cariche davano un risultato (3).

... oltre due colonne vuote ...

Esperienze con idrogeno ed ossigeno.

« Esaurito questo primo ordine di esperimen-
ti, all'aria atmosferica fu sostituito il gas ossi-
gene per conoscere cosa sarebbe avvenuto sbaraz-
zando 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. (4)

« Nè risultò che tanto la corsa di andata del-
160 lo stantuffo come quella di ritorno erano visibil-
mente più violenti e più rapide; ma al tempo
medesimo rimanevan più corte, per guisa che un
medesimo volume di gas idrogeno produceva, bru-
ciando con l'aria, una corsa notabilmente più
lunga di quella prodotta bruciando col gas ossi-
geno. Ne fu concluso che la presenza di un gas
estraneo alla combustione compensava l'inconve-
niente di restare ad ingombrare il cilindro e quin-
di ad impedire la formazione di un vuoto perfet-
170 to dietro lo stantuffo rendendo la corsa di que-
sto più ampia e meno violenta. (5)

aumentare; ed, in particolare, le perdite di calore e gli
oneri di attrito.

(4) La proporzione in peso, nell'ipotesi riferita alla
annotaz. a linea 149, è infatti, 1: 4,241.

(5) L'esperienza coll'idrogeno, data la genesi della
ideazione del Padre Barsanti, la quale, come si è visto,
derivava dalle esperienze colla Pistola di Volta, doveva
necessariamente precedere qualsiasi altro saggio.

L'osservazione che, in marcia con aria come mezza
comburente, anzichè nella marcia in ossigeno puro, si
aveva un effetto più sensibile, non ci sorprende, se noi
riflettiamo che il vapor d'acqua prodotto nella combu-
stione dell'idrogeno in ossigeno è condensabile; e che se
il vapor d'acqua non era diluito nelle grandi masse di
azoto, le quali, incondensabili in sè stesse, valevano ad
isolare una gran parte delle molecole del vapor d'acqua
dal contatto immediato colle pareti del cilindro e colle
teste degli stantuffi ed a rendere meno probabili fatti di
raddensamento determinanti rapida diminuzione di pres-
sione della massa dei prodotti della combustione (rite-
nuto che tali fenomeni dovessero aversi al progredire del
movimento dello stantuffo nella marcia con idrogeno ed
ossigeno).

Pure col più laborioso linguaggio del tempo la dif-
ferenza è delineata nel manoscritto. L'annotazione non
è fatta al solo scopo di aggiungere, o di completare,
un'interpretazione altrimenti ovvia; ma per ricordare
che nel 1841 (come è stato detto nella Cronologia dei
Precursori riferita nella occasione precedente) JOHNSTON
brevettò un *motore atmosferico ad ossigeno ed idrogeno*,
ossia un motore, il quale, ove la combustione del gas
tonante (ammesse le proporzioni teoriche) avesse potuto
essere, come si supponeva allora, istantanea e compiuta,
avrebbe dovuto trasformarsi subito dopo l'esplosione

Esperienze con idrogeno ed aria in eccesso.

2 « 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'idrogeno, e fu trovato che per

in un motore a vapore, acconsentendo la condensazione, nello stesso modo con cui essa può essere consentita dalla macchina a vapore medesima.

La citazione ha, a sua volta, duplice intento. Le ricerche e le costruzioni di Barsanti e Matteucci, hanno, come fu già annotato e come preciseremo subito dopo la presente trascrizione del manoscritto Ximeniano, un carattere profondamente individuale, il quale si stacca nettamente dall'antico concetto del funzionamento atmosferico propriamente detto. Ad ogni modo, la concreta sperimentazione dell'idea che già era più anticamente sorta anche nell'Inventore cit. (però coll'aggiunta nettamente individualizzante della marcia a stantuffo libero) assieme alle esperienze sul funzionamento ad azione diretta ed al rigetto dell'una e dell'altra soluzione (salvo, per il funzionamento diretto, la citata adozione parziale per lo stantuffo secondario del motore monocilindrico) sono circostanze le quali contribuiscono a dar carattere di universalità anche agli studi costruttivi di B. e M. Pertanto può dirsi che le Loro ricerche, oltre che a proporre un metodo nuovo, li hanno quasi portati ad abbracciare tutte le ideazioni avvicendatesi nel tempo, ad eccezione, ben inteso, di quelle che comportavano la compressione preliminare.

(1) La fiducia nella compiutezza della combustione secondo quello che fu il concetto, già ripetutamente ricordato, della antica chimica classica, in presenza delle proporzioni teoriche di combustibile e comburente, appare qui (linea 176) esplicitamente espressa.

L'origine dell'idea di compiere l'esperienza con aria in eccesso è pure chiaramente espressa; l'esperienza con aria in eccesso è avvenuta (quasi estrapolando il risultato già ottenuto, facendo compiere la combustione dell'idrogeno in aria anziché in ossigeno) ritenuto che: « la presenza di un gas estraneo alla combustione compensasse l'inconveniente di restare ad ingombrare il cilindro » ed il conseguente ostacolo alla « formazione di un vuoto perfetto dietro allo stantuffo rendendó la corsa più ampia ».

Si tratta precisamente della concezione, ulteriormente spinta, della convenienza di ritardare l'effetto delle azioni raddensatrici, antagoniste, evidentemente, all'incremento della resa di lavoro della espansione.

La circostanza che non poteva essere intravvista è quella che le maggiori disponibilità di ossigeno (la maggior probabilità, come noi diciamo materializzando cineticamente, che le molecole dei gas combustibili vengano tempestivamente in contatto colle molecole del gas comburente), conducono ad un maggior sviluppo di calore a pari masse di combustibile impiegate.

(2) L'identificazione dello idrogeno bicarbonato è resa alquanto ardua da questo avvicinamento con un

la massima corsa dello stantuffo la miglior proporzione era quella di 1 a 7 (1).

Esperienze con gas illuminante.

180 « Sostituito all'idrogeno puro l'idrogeno bicarbonato, (2) ossia l'idrogeno che serve all'illuminazione della città di Firenze e ripetuta quasi la

gas di illuminazione. Essa porterebbe chi seguisse le indicazioni della 1ª tabella trascritta al § 2 a propendere per il metano, col quale reciprocamente si sarebbe portati ad identificare l'idrogeno protocarbonato pure ricordato nel manoscritto.

Si deve però avvertire che (linea 189) i migliori risultati si ottennero con 12 volumi d'aria, quantità certamente eccessiva per il gas illuminante corrente. Le esperienze di MEIDINGER furono infatti compiute impiegando 1 di gas per 8 di aria; BERNARDI ebbe, come si ripeterà, i migliori risultati con 1: 7,1 ad 1: 7,7.

D'altronde abbiamo osservato che le esperienze dello Istituto Lombardo furono compiute con un gas di potere calorifico valutato da Besso ad $\frac{8}{5}$ il potere calorifico del gas luce. I rapporti fra 12 ed i valori ottimi del BERNARDI non sono molto diversi da quei rapporti di poteri calorifici, onde si avrebbe un indizio (per chi voglia desumere dalla misura dei fabbisogni d'aria una indicazione orientatrice) non contraddittorio all'ipotesi che il gas impiegato appartenesse alla categoria dei gas ricchi cui apparteneva il gas delle esperienze di Milano.

Esprimendo altrimenti lo stesso concetto, osservando che il gas della 2ª tab. (§ 2) domanda teoricamente 9,415 volumi d'aria e che ad esso i 12 volumi d'aria concederebbero già un'eccedenza (del 27 ÷ 28 %; ossia ad un'eccedenza non insignificante per la marcia ad esplosione con miscela preformata. In questo caso (ossia se il gas di Firenze fosse stato affine a quello della 2ª tab.) il componente predominante sarebbe stato l'etilene

Diremo, abbandonando queste congetture, che la definitiva identificazione del gas non è per noi essenziale, dato che, più che altro, cerchiamo di renderci conto delle conseguenze termodinamiche delle esperienze che formano oggetto del manoscritto, (in particolare: cerchiamo di definire il concetto di sovraespansione forzata dei gas della combustione indotta dalla inerzia dello stantuffo libero) e di riconoscere fruttuose persistenze di significato tecnico scientifico di quel concetto.

Dal punto di vista chimico, il nostro commento può dunque limitarsi alle (frequentemente ripetute) osservazioni sulla maggiore o minore compiutezza della combustione e sugli effetti di combustioni tardive, senza che questo renda meno auspicabile, che, ad integrare il documento coi risultati che esso insegna il mezzo di raggiungere, sia ripristinata la serie dei risultati stessi e confortata di adeguato commento chimico.

La presente annotazione ed altre ad essa affini per contenuto assumono in questo momento piuttosto intento di coordinazione fra i vari passi del documento.

188 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 aria (1).

Determinazione sperimentale delle corse dello stantuffo libero e delle loro durate.

190 « 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 pressochè uguali e così indicavano come anche la durata delle due corse era sensibilmente la stessa. Le corse più

Limitandoci all'intento così espresso, ripeteremo (anche dalla 1ª annotaz. a questa trascrizione) che dell' *Idrogeno bicarbonato*, il Documento parla altresì come di combustibile impiegato in istato di purezza ed in proporzioni teoriche nelle ricerche destinate a precisare i massimi di pressione ottenibili, onde documentare sulla entità dei pericoli presentati dalla combustione esplosiva.

Aggiungeremo che il Documento ne riparla (linea 360) ragguagliando sulle esperienze compiute imponendo allo stantuffo di vincere una resistenza continua, per avvertire che il combustibile in parola, impiegato con grande eccesso d'aria si prestava ad avviare, in qualche misura, all'effetto deprimente, sul grado di espansione, dell'imposizione di quelle resistenze.

Potremo, forse correttamente, riconoscere in questo il segno della circostanza, che, nel maggior intervallo di tempo posto a disposizione (per essere lo stantuffo frenato dalla resistenza) nell'apparecchio andavano susseguendosi, in larga disponibilità di ossigeno ed in condizioni di sostenuta temperatura e pressione, *combustioni tardive* accompagnate da somministrazioni di calore le quali mantenevano, nei gas della combustione, l'attitudine a superare quelle resistenze.

(1) L'idrogeno con 7 volumi d'aria, quanti sono risultati atti a dare i risultati più favorevoli (linea 179) (e come si dice, anche in questo caso, a solo scopo di coor-

ampie erano sempre proporzionalmente più celeri delle più piccole, e le massime, che giungevano a 0^m.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 fuorchè 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 benchè molto limitate.

Mezza colonna bianca

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, (2) il Barsanti ed il Matteucci avreb-

dinazione) dà un miscuglio il cui contenuto termico deve ragguagliarsi a 321 Cal. per mc.

Un gas luce di analisi corrispondente alla 1ª Tab. trascr. dà, con 12 vol. d'aria, un pot. cal. per mc. 389 Cal. Queste però salgono ad un valore superiore, se, per quanto fu precedentemente osservato, si ritiene improbabile che il gas impiegato corrispondesse all'ordinario gas luce.

La maggior ricchezza del miscuglio, anche nell'ipotesi che il gas abbia avuto la composizione del gas luce, rende conto, comunque, primordialmente delle cause della maggior resa di lavoro.

(2) L'allusione allo stato di evoluzione delle scienze sperimentali all'inizio della seconda metà del secolo scorso, fatta a questo punto dal manoscritto, si riferisce chiaramente a quella che poteva essere allora la interpretazione, del fenomeno della combustione, quando essa è compiuta in condizioni da assumere la forma che suole denominarsi esplosiva e delle leggi che la governano. Lo stesso manoscritto precisa, del resto, con chiarezza quali fossero i punti che si dovevano chiarire iniziando le ricerche. Perciò noi non insisteremo in argomento, essendo sufficiente e valendo assai più di qualsiasi commento il rilevare direttamente il rendiconto delle determinazioni relative dal documento trascritto.

236 bero potuto risparmiarsi una gran parte delle loro fatiche. Ma il fenomeno di cui parliamo non era conosciuto a quell'epoca senonchè per il terrore che ispirava.

Giudizio sfavorevole al motore
ad azione diretta. 270

240 « Soltanto nel 1858, ⁽¹⁾ 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. Nè ciò valse a scoraggiarli; im-
250 perciocchè le indicazioni vaghe ed oscure che poterono 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 impossibile.

Carattere delle indicazioni
chieste da B. e M. 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
260 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 ⁽²⁾ alla immensa varietà degli effetti provenienti dal-

⁽¹⁾ Nel 1858 fu terminato, come risulta dal foglio di addebito, favorito dalla *Fonderia del Pignone* e pubblicato nella precedente comunicazione, il motore di costruzione Benini.

Dalla Relazione dello Istituto Lombardo, risulta, come è noto, che il motore di costruzione Benini fu preceduto dal motore che ha funzionato nelle officine della *Ferrovia Maria Antonia*. Anche lo *Statuto della Società del Nuovo Motore*, una copia del quale è custodita nell'Archivio Ximeniano, allude alla costruzione di due motori prima della costituzione della Società. Indurremo dalla osservazione qui fatta, che, sotto il punto di vista termico funzionale, si attribuì forse concreta importanza definitiva solo al secondo motore costruito.

⁽²⁾ Si deve, avuto riguardo alle successive considerazioni sui caratteri del motore, avvicinare la domanda, formulata a questo punto del Testo, sulla rapidità colla quale si produceva il raddensamento dei prodotti della combustione, al passo che contiene la relativa risposta, ineccepibilmente formulata nel novero delle conclusioni alle quali hanno condotte le esperienze.

Il Manoscritto dirà, fra l'altro (linea 384 e segg.);

la 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 ch.mo professore di Fisica P. Filippo Cecchi delle Scuole Pie. ⁽³⁾

Ritorna a questo punto, meglio precisata, la riserva già fatta fra le linee 135 e segg. e cioè la riserva di render noti « in altra occasione i risultati, molto numerosi e svariati, degli esperimenti ed i metodi praticati, data « l'indole e lo scopo di questa Memoria » la quale appare dunque 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 Mem. quindi prosegue:

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
280 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 estendersi senza che si aprano, ogni rumore venendo a mancare, si sarebbe indotti a credere che la forza pure si riduca a pressochè nulla. Il vero si è che la forza espansiva delle miscele gassose detonanti, comunque e dovunque succeda, ⁽⁴⁾ non raggiunge la

« ... nè la rapidità del ritorno si sarebbe spiegata in modo soddisfacente facendola interamente dipendere dalla condensazione dei residui e di prodotti della combustione ».

⁽³⁾ Questo riconoscimento di una influenza della forma delle camere detonanti e della temperatura delle pareti; e la successiva allusione alle resistenze più o pareti è veramente tale, quale i ricostruttori dell'Opera di Barsanti e Matteucci non potrebbero desiderare più esauriente.

Valga il pensare, che, in un breve programma di esperienze formulato nella precedente comunicazione (programma il quale non rappresentava che una fedele trascrizione di precetti oggi correnti) ad eventuale verifica dell'influenza di una più favorevole combustione, lo studio della forma e della temperatura della camera di combustione era stato posto fra gli elementi che richiamavano precipuamente l'attenzione.

⁽⁴⁾ Può esser rilevato, il senso di fiducia nella esauriente universalità delle indagini fatte per determinare, nelle condizioni d'esperienza, il massimo valore della pressione d'esplosione.

289 tensione di 7 atmosfere, vale a dire che la forza
 290 in discorso, al momento che si produce, equivale
 a quella del vapore elevato alla temperatura di
 gr. (1), temperatura che il vapore stesso ha nel-
 le macchine ad alta pressione. Avvi per altro una
 differenza grandissima, e che devesi qui constata-
 re, fra la tensione di un miscuglio gassoso in-
 cendiato e quella del vapore riscaldato, poichè
 la prima non dura che un istante impercettibile
 di tempo e scende con una rapidità prodigiosa al
 300 di sotto di una atmosfera mentre la tensione del
 vapore si mantiene finchè la temperatura di esso
 non viene abbassata per la sottrazione del calo-
 rico, operata dalle pareti dei recipienti, e tale ab-
 bassamento richiede sempre un tempo più o me-
 no lungo, che per essere abbreviato esige l'appli-
 cazione di un qualche artificio, come suole prati-

Questa ricerca sui massimi di pressione fa sorgere, nella singolarità della disposizione a stantuffo libero, la domanda, se, per ogni combustibile, si siano avuti due massimi nelle corse degli stantuffi; uno corrispondente al valore massimo della pressione ed uno corrispondente alle condizioni di combustione più redditizia; od, in altri termini, uno corrispondente al massimo impulso attribuito inizialmente allo stantuffo; l'altro, secondo le nostre attuali possibilità di interpretazione, corrispondente ad un più debole impulso iniziale; ma a più nutrite combustioni successive. A questa domanda alluse già la annotaz. introduttiva alla pres. trascrizione.

Il manoscritto esclude risolutamente l'esistenza di massimi diversi da quello ottenuto coll'eccesso d'aria più favorevole.

Una serie di valori delle citate esperienze di BERNARDI permette, almeno nel caso del gas illuminante, di stabilire esattamente l'andamento dei fenomeni.

Si hanno infatti in quella serie, e per una altezza di carica di mm. 18 (in un cilindro sperimentale verticale di 80 m/m) i valori seguenti:

Volumi gas % di miscela:	9	9,7	10,5	11,2	12,4	13.-	14.-	14,6	15,6	16,-	17,2
Altezza massi- ma raggiunta dallo stantuffo m/m	92	104	119	133	145	149	149	147	144	140	126

L'ultimo valore corrispondendo (con un rapporto di volumi 1: 5,8) secondo la 1^a tabella del § 2, quasi alle proporzioni teoriche, il penultimo valore essendovi già relativamente prossimo.

All'esame dei risultati si rende manifesta una sensibile persistenza di valori, fino, può dirsi, verso le stesse proporzioni teoriche. La differenza di corsa fra il caso più favorevole e l'ultimo è infatti di poco superiore al 5%. Essa si riduce a poco più del 3% nel penultimo caso ed a poco più dell'uno al terz'ultimo, per annullarsi nel quart'ultimo esempio.

Ciò significa, che le pressioni d'esplosione, ancorchè più elevate nelle marcie con piccoli eccessi d'aria, non compensarono il difetto di combustione (inteso globalmente, per il momento dell'esplosione ed il periodo di strascico della combustione durante l'espansione).

carsi nelle macchine munite di condensatore. Affinchè 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, adoprando idrogeno puro, ossido di carbonio, (2) idrogeno protocarbonato 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 (3). Così veniva a chiarirsi che almeno per le materie gasso-

Può aggiungersi: le 7 atm. ottenute, nel caso dell'idrogeno, col 5% d'aria, oppure coll'« idrogeno bicarbonato » in condizioni teoriche non superarono verosimilmente di molto la pressione massima del caso della corsa più favorevole, realizzata in maggiore eccesso d'aria.

Valga per questo l'osservare, che il diagramma della fig. 7 accusa una pressione massima di 5 atmosfere in marcia con gas illuminante (gas il quale non poteva forse raggiungere le pressioni massime dell'« idrogeno bicarbonato ») ed il rilevare, che non è escluso, dato che si videro raggiunti da BARSANTI e MATTEUCCI e da BERNARDI rapporti di espansione superiori, che questi A. A. nelle loro esperienze siano riusciti a superare le cinque atmosfere di pressione massima accusate dal diagramma.

Queste notizie ed osservazioni vengono annotate per derivare, fino all'eventuale auspicato rinnovo delle esperienze, dai pochi elementi dei quali si dispone, una più compiuta visione del risultato generale delle esperienze antiche.

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

(2) Non si può esimersi dal rilevare, per quanto siasi detto desiderabile che, nella trattazione, minori rivendicazioni di precedenza di studio di problemi singoli del motore non distolgano l'attenzione dalla grande rivendicazione di principio, l'allusione ad esperienze compiute con ossido di carbonio. Ciò ha un suo speciale interesse soprattutto per chi ha presente lo sviluppo assunto dai motori a gas combustibili calorificamente poveri, ed, in particolare, il grande sussidio che ancor oggi offrono i motori a gas d'alto forno alla grande industria siderurgica.

Nel gas cit., l'elemento combustibile è quasi esclusivamente dato, come è universalmente noto, dall'ossido di carbonio.

Conviene ricordare a questo punto (cfr. Comunicazione 1927) che DE CRISTOFORIS (1841) aveva invece alluso allo impiego eventuale di gas derivanti dalla carbonizzazione del legno.

(3) A questa esperienza si riferiscono già annotazioni precedenti.

323 se 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 riguardo all'eccessiva prontezza con la quale si distrugge ⁽¹⁾ appena formata, faceva sorgere il dubbio di poterla applicare alla produzione di effetti molto potenti.

A questo punto è ripetuta la descrizione dell'apparecchio di prova ed è nuovamente esposto il modo con cui si compievano le esperienze. Notevole è l'allusione al modo con cui si produceva l'accensione, poichè essa attesta dello stesso carattere di larga ecletticità dato alle esperienze; e perchè 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 Delarive, 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* ».

Dopo di aver fatto risaltare, che, ancora una volta, la memoria ripete quì la riserva e la promessa di compiere

(1) Non è ozioso rilevare il senso chiaramente espresso di sollecitudine per quella che noi, con frase corrente, diciamo la bassa pressione media della parte attiva del ciclo. Questa pressione media, come osserva il manoscritto, deriva *dalla limitazione riscontrata nelle pressioni di esplosione e dalla rapida discesa della pressione durante l'espansione.*

Ciò porta ad attribuire allo Autore della Memoria un senso di vigile controllo; e dà anche, interpretato in modo differenziale, senso di perfetta coscienza della circostanza che la *macchina a vapore*, funzionante con *pressione di 7 atmosfere*, costruita per dippiù come motrice a doppio effetto, poteva, con locuzione moderna, superare nelle potenze specifiche (potenze per unità di volume generato, nell'unità di tempo, dallo stantuffo) la motrice a combustione interna che si veniva creando.

In certo senso, dunque, l'Autore della Memoria prevedeva una delle obiezioni che la pratica avrebbe potuto fare al motore.

In realtà le cose erano diverse (specialmente per chi si riferiva ad una motrice di piccola potenza) se si considerava la motrice a vapore assieme con la caldaia ed eventualmente col condensatore. La motrice a vapore, che non poteva dare, allora, se non rendimenti molto bassi, e occupava, col complesso dei suoi organi accessori, spazio considerevole.

La pratica ha mostrato, colla diffusione del motore di Otto e Langen a migliaia di esemplari, che il motore costruito secondo il principio enunciato da B. e M. aveva un campo di vitalità nel quale poteva render servizio, ad onta delle basse pressioni medie.

Di questo, malgrado le preoccupazioni quì accennate, gli Inventori giunsero a farsi una precisa coscienza.

ulteriori comunicazioni, continueremo nell'esame del manoscritto.

Esso avviandosi alla conclusione, continua nel modo seguente:

Ampiezza delle escursioni dello stantuffo e loro durata.

330 « Tenendo libero lo stantuffo da qualsivoglia resistenza, fuorchè quella della sua inerzia, la scarica lo slanciava 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, dimodochè una carica alta p. es. 6 cm. produceva nello stantuffo una corsa di circa 50 cm. ⁽²⁾. La durata di questa corsa era di qualche centesimo di minuto secondo, ad essa succedeva immediatamente una corsa di ritorno quasi egualmente veloce, ed il passaggio dall'uno all'altro di questi moti contrarii era così istantaneo che l'occhio il più attento non avrebbe potuto distinguere, senza l'aiuto del tamburo di Morin, qual porzione dell'asta fosse venuta fuori dal cilindro. Opponendo allo stantuffo una resistenza momentanea, legandolo per

E' interessante ricordare, anche all'infuori di questo ordine di considerazioni, una ulteriore citazione di raffronti del motore atmosferico colla motrice a vapore fatta in altra occasione. Questo 2° paragone, di carattere pratico, è fatto in quella notizia a stampa in lingua francese, che noi non abbiamo escluso possa esser dovuta allo stesso Autore della Memoria manoscritta.

Deve cioè dirsi che, nella notizia, viene alluso alla complicazione portata dalle caldaie ed al pericolo di esplosione a cui esse conducevano in epoca in cui il grado di sicurezza raggiunto nell'esercizio delle caldaie a vapore era molto inferiore all'attuale.

La citazione del documento vuole però quì anche e soprattutto registrare una appropriata immagine che vi figura e che costituisce una ben'intesa risposta alle obiezioni che di quando in quando venivano sollevate per la presenza dello stantuffo libero, ritenuta quasi una causa di pericolo.

Il passo che desideriamo citare, osserva infatti che lo stantuffo libero, lungi dall'aggravare, rispetto ad altri meccanismi, il pericolo, costituiva una specie di *valvola di sicurezza*.

Gli Inventori avevano dunque maturamente riflettuto anche su questo aspetto del problema funzionale.

(2) Il manoscritto sembra stabilire che la corsa ottopla debba intendersi all'infuori del volume di aspirazione, onde il rapporto totale di espansione può esprimersi col valore numerico di 1:9.

BERNARDI (cfr. comunicaz. 1927 od annotaz. precc.) trovò con gas illuminante in cilindro vert. un rapporto 18:149 m/m ossia 1:8,25. Ripetute le esperienze, con altezza di carica 16 m/m e con stantuffi di peso variabile fra 560 e 2625 gr., trovò col peso inferiore una corsa mass. di 140

347 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
350 lunghezza e molto meno da quello della velocità.
Volendo infine obbligarlo a vincere una resisten-
za continua, cioè a sollevare un peso, a compri-
mere dell'aria ed a girare un volante, la lunghez-
za della corsa di andata e conseguentemente an-
che l'altra diminuivano tanto da ridursi quasi
che a nulla anche quando le resistenze in discor-
so erano proporzionalmente piccolissime in con-

m/m, ossia 1 : 8,4; ebbe per il peso massimo una lieve diff.
in meno (1 : 8.1).

Attenueremo l'impressione della, già lievissima,
discordanza, coll'osservare che alla disposizione verticale
doveva accompagnarsi una certa contrazione di corsa.

Passando al campo applicativo, leggeremo sul diagr.
della fig. 7, che, in quel caso, il rapporto pratico è stato
di 1 a 7, avvertendo, che il peso per unità di sezione dello
stantuffo (circa 100 gr. cmq.) era superiore a quello
delle esperienze ult. cit.; e soggiunge, emmo (per quanto
ciò non possa valere che di lontano riferimento, perchè
il diagramma fig. 7 non corrisponde alle esperienze di
MEIDINGER) che il miscuglio usato in quest'ultima espe-
rienza era meno ricco di quanto non sia stato nelle espe-
rienze di BERNARDI: 1 : 8 invece di 1 : 7,1.

Osserveremo ancora, per il nostro obbligo di coordi-
nare, che il motore delle figg. 2 a 6, come è annotato sotto
le figure medesime, presenta bensì un rapporto di corsa
fra i due stantuffi di 1 a 7 (ossia un rapporto minimo di
espansione di 1 ad 8). Però la corsa dello stantuffo au-
siliario non era tutta (*Relaz. Ist. Lombardo*) destinata
all'aspirazione. Il rapporto costruttivamente previsto da
BARSANTI e MATTEUCCI fu dunque certamente superiore ad
1 ad 8. Ciò fu già annotato sotto le figg. citt.

Analogamente può dirsi che, nel motore *Otto* e
Langen sperimentato da MEIDINGER, il rapporto massimo
costruttivamente previsto era: 103 : 877 m/m (*Comunicaz.*
1927) onde, in definitiva, le corrispondenze col risultato
delle esperienze di BARSANTI e MATTEUCCI debbono dirsi
perfette, anche in fatto di preveggenze nelle applicazioni.

(1) Circostanza già sommariamente esaminata in
una annotaz. prec.

(2) B. e M. notarono caratteri perfettamente armo-
nizzanti fra loro. Il manoscritto dice: « *le resistenze
tanto momentanee che continue producevano uno scalcio
violento, mentre le pareti della camera detonante si
riscaldavano incomparabilmente più che nel caso dello
stantuffo libero* ».

Noi interpretiamo: la combustione iniziata a pres-
sione atmosferica veniva, in presenza delle resistenze,
perfezionandosi *sotto pressioni e temperature più ele-
vate* di quanto non avvenisse nel caso dello stantuffo
libero. Essa poteva, per questo, essere più compiuta,
portando ad un *maggior sviluppo di calore*, il quale si
rendeva manifesto mediante il *riscaldamento, più sensi-
bile, delle pareti della camera di combustione*.

Ancora: le pressioni esercitate sullo stantuffo dove-

fronto delle resistenze momentanee; ed in questo
caso, per non perdere affatto la forza conveniva
360 adoprare idrogeno bicarbonato, mescolato con
una dose d'aria assai maggiore di quella richie-
sta per la completa combustione (1).

« Osservavano poi gl'Inventori che le resi-
stenze tanto momentanee come continue produ-
cevano nel cilindro uno scalcio violento e che le
pareti della camera detonante si riscaldavano in-
comparabilmente più che nel caso dello stantuffo
libero. (2) »

vano consentire che, entro al cilindro, la pressione sa-
lisse a maggiore altezza di quanto non avvenisse nel caso
dello stantuffo libero.

Questa possibilità di raggiungere una maggiore
pressione è correlativa a quella già ricordata del mag-
gior sviluppo di calore. A giustificare il senso di un'urto
violento avvertito dagli Sperimentatori, può aggiungersi
l'ovvia osservazione che la velocità di combustione doveva,
quasi certamente, riuscire contemporaneamente accresciuta
dalle pressioni e temperature elevate. Da ciò, il senso della
azione intensa, applicata in modo dinamico.

Chi voglia ulteriormente commentare e coordinare
le varie circostanze segnalate, può obiettare, che l'os-
servazione termoscopica, *nel caso della resistenza con-
tinua*, la quale limitava l'espansione e dava perciò luogo
ad una trasformazione in lavoro di quantità di calore
minori di quelle che si avevano nella marcia a stantuffo
libero, non può ancora, strettamente parlando, conce-
dere la riprova di quel maggior sviluppo di calore di
cui abbiamo parlato (nel cilindro rimanevano infatti
intrasformate quantità di calore le quali si sarebbero
invece trasformate in lavoro nella marcia a stantuffo li-
bero). In questo caso, era infatti possibile giustificare
altrimenti il maggiore riscaldamento della camera di
combustione.

La prova si ricava tuttavia dalle osservazioni degli
sperimentatori nel caso delle resistenze accidentali.

Fu infatti avvertito come, opponendo allo stantuffo
la resistenza momentanea, (creando, in concreto, mediante
una fune, un vincolo al suo movimento, che, dopo strap-
pata, lo lasciava libero) non si notava diminuzione della
corsa. Per quanto concerne la misura del lavoro reso,
determinata in base alle ricerche ergometriche di cui
era strumento lo stantuffo libero, non si aveva, dunque,
sensibile contrazione. Anzi, reciprocamente, si aveva un
aumento assoluto nelle quantità di lavoro prodotte,
poichè *il lavoro accumulato dallo stantuffo doveva
sommarsi col lavoro di deformazione o di rottura com-
piuto nel distendere il vincolo e nell'annientarlo*.

Agli Sperimentatori, portati, come fu detto ripe-
tutamente, a considerare la combustione come istantanea
e compiuta, l'interpretazione, per noi assolutamente ovvia,
non poteva affacciarsi. Così essa non aveva potuto af-
facciarsi nel caso dell'impiego di aria in eccesso (di cui
è fatta ulteriore menzione in questo punto come di mezzo
atto a contrastare alla diminuzione degli effetti dell'e-
splosione dovuta alle resistenze continue.

Considerazioni interpretative ed accertamento dell'esistenza della depressione entro al cilindro.

369 « Erano questi fatti importantissimi dei qua-
370 li bisognava rendersi esatto conto. Lo stantuffo libero ed anche vincolato dalle resistenze momentanee trovandosi in condizioni pressochè uguali a quelle di un proiettile in un pezzo di artiglieria, perchè 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 evidentemente 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, nè la rapidità del ritorno si sarebbe spiegata in modo soddisfacente facendola intieramente dipendere dalla condensazione dei prodotti e di residui della combustione.

380 « Il Barsanti e il Matteucci prima suppose-
ro e poi trovarono confermato dall'esperienza, che la mescolanza detonante imprimesse 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.

400 « 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 perchè 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 sostituìtola la fiammella di un lume che attesa la somma faci-

lità 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.

« 2° Che la durata dell'espansione non poteva valutarsi nemmeno in due centesimi di minuto secondo, giacchè 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 dell'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 ». (1)

(1) Le conclusioni, come è necessario e doveroso notare, hanno esplicito carattere di conclusioni di una ricerca fisica. Non è in esse alcun elemento il quale mostri la cura delle applicazioni industriali; ma solo i segni della chiarificazione raggiunta nei riguardi della interpretazione dei fenomeni osservati; onde veramente le ricerche debbono pregiarsi, senza pregiudizio del merito della costruzione che su esse potè basarsi, nel loro valore ideale e nella loro esposizione obbiettiva.

Dal punto di vista applicativo, le esperienze, nel carattere tassativamente scientifico delle loro conclusioni, valgono altresì ad introdurre in quella riflessione, che, ad esame compiuto, il Motore Barsanti e Matteucci non può classificarsi fra i motori atmosferici nel senso tradizionale della parola (l'argomento di cui una precedente annotazione ha fatto riserva di parlare ulteriormente, ed il cui esame inizierà, ormai, il § succ.).

5. Considerazioni sul carattere del motore e sulle ripercussioni termologiche della incompiutezza della combustione.

a) Definizione del carattere del motore.

I. - Il documento che si volle commentare con annotazioni disposte in corrispondenza dei Passi di più saliente importanza, tenute anche presenti osservazioni di massima, le quali ne precedettero la trascrizione, non necessita di ulteriore analisi; ma di deduzioni d'assieme, che

però cercheremo di restringere ai due argomenti ai quali si riferisce il titolo di questi §§.

Il primo di essi è quello, a cui allusero già ripetutamente le annotazioni, della convenienza di una rettifica della primitiva classificazione del motore, classificazione a cui noi stessi abbiamo acceduto nella precedente occasione. Essa dà alla

concezione carattere arcaico, privo della scioltezza e della consapevole originalità che il documento trascritto consente di attribuire agli ideatori.

Il 2° argomento (stabilito, nelle esperienze, il carattere di ricerche sui massimi di efficienza ottenibili nella trasformazione in lavoro di calore sviluppato nella combustione esplosiva di miscugli gassosi), è quello del riprendere, coordinando, da osservazioni od annotazioni precedenti, il concetto che le ricerche di *Barsanti* e *Matteucci*, considerate in assieme, mancarono di cogliere termologicamente il loro pieno frutto perchè era ignoto che la combustione era lenta e non compiuta, nè essa era, del resto, facilmente perfezzibile.

II. - Incominciando dal primo argomento, diremo.

In conformità alle riserve fatte, le conclusioni a cui il manoscritto giunge permettono dunque di stabilire (ciò che non si sarebbe potuto fare senza arbitrio partendo dalla Memoria dei Georgofili) che *Barsanti* e *Matteucci* non si proposero di costruire un motore atmosferico nel senso tradizionale della parola; ma che, ripetendo con maggior precisione, si proposero piuttosto di risolvere in modo generale il problema della combustione esplosiva, ricercando, nel fatto, i massimi delle quantità di lavoro direttamente rese ed assorbite temporaneamente dallo stantuffo, trasformato in organo accumulatore.

La riserva fatta sulla denominazione di motore atmosferico attribuita generalmente al motore *Barsanti* e *Matteucci* (e da noi adottata nella precedente comunicazione con aggiunta l'indicazione della accumulazione per gravità) può più diffusamente motivarsi nel modo seguente:

In termini concreti, non sapremmo dire se, parlando di motore atmosferico nel senso tradizionale della parola, si debbano già distinguere due forme di ideazioni, ovvero sia se la parola tradizionale possa già in sè esser suscettibile di due diverse interpretazioni.

Le ideazioni le quali precedettero la realizzazione della macchina a vapore di PAPIŒ (1688) e quelle che, a grande distanza di tempo, si affacciarono nella prima metà del secolo scorso improntando forse il concetto informatore alla macchina a vapore agente per condensazione, non appaiono infatti strettamente rispondenti allo identico ordine di concetti.

I tre antichi HAUTEFEUILLE, HUYGHENS e lo

stesso PAPIŒ, (che, nominati quì in ordine di tempo, sulla fine del XVII secolo iniziarono lo studio del motore ad esplosione), partirono dal concetto di *servirsi dello scoppio di polvere da sparo onde generare una rarefazione in una camera, od in un cilindro appropriati*, ed aver perciò modo di rendere attiva la pressione atmosferica, forza di cui in quei tempi si celebrava la rivelazione. Essi intendevano così di render possibile il ricavare dallo spostamento di masse d'acqua, o da quello di uno stantuffo, compiuti sotto l'azione prevalente della pressione atmosferica, lavoro utile.

Gli apparecchi ideati, e quello effettivamente costruito da Papin (Anno cit.) avevano valvole di ritegno, aprentisi verso l'esterno e destinate a lasciar sfuggire aria all'atto della esplosione. Questo rappresentava il presupposto affinché potesse determinarsi la rarefazione, che gli antichi Ideatori si proponevano esclusivamente di utilizzare, in modo rapido.

Al concetto costruttivo - funzionale si attenne, come si ricordò nel 1927, anche de Cristoforis.

Ben comprendiamo, che, agendo in questo modo, il cilindro (o l'apparecchio) d'esplosione dovevano, ad esplosione avvenuta, conservare prodotti della combustione a temperatura elevata, e, prossimamente, alla pressione esterna; e che gli apparecchi stessi, cedendo calore, potevano successivamente dar luogo allo stabilirsi della depressione dalla quale Hautefeuille si riprometteva di derivare aspirazione d'acqua; Huyghens e Papin si proponevano di derivare l'aspirazione dello stantuffo motore.

Non sappiamo tuttavia renderci conto, se, pur intuita correttamente la possibilità di ottenere con questi sistemi lavoro al prevalere della pressione esterna, non si sia avuta inizialmente l'illusione che l'esplosione determinasse una *espulsione compiuta dell'aria*, facendo il vuoto nel recipiente in cui essa avveniva; se, in altri termini, non si sia ritenuto che tutte le particelle dei gas presenti potessero trasformarsi in una miriade di proiettili destinati ad essere espulsi dalla singolare bocca la fuoco, protetta contro il loro reingresso dalle valvole di ritegno.

Se così fu, l'apparato atmosferico veniva, nella supposta illusione antica, ad aver punti di contatto con una *macchina pneumatica di speciale natura*, più di quanto esso non si avvicinasse, per dir semplicemente, ad un cilindro operante fra la pressione atmosferica e la pressione di condensazione in una motrice a vapore.

III. - Come ricordò la Comunicazione rip.

cit., Papin aveva anche concretamente pensato alla macchina pneumatica come mezzo per creare una depressione a tergo di uno stantuffo destinato a produzione di forza motrice. Si trattava in quel caso, come fu allora ricordato, di provocare rarefazioni a distanza, realizzando una forma di trasporto d'energia.

Dopo di aver realizzato il motore atmosferico a polvere, l'Inventore seppe ottenere la rarefazione condensando vapore. Perciò può dirsi che, nella Sua mente, i vari modi con cui poteva concepirsi la creazione del motore atmosferico vennero avvicinandosi in forma quasi metodica, e che dallo studio metodico fiorì un risultato il quale va annoverato fra i Fasti della Tecnica.

Noi ci siamo perciò posta la domanda, la quale ci ha condotto a rievocare questa pagina interessante della storia delle motrici termiche e su cui però non insisteremo ulteriormente, se l'idea primitiva del motore atmosferico ad esplosione abbia avuto, esagerando, più punti ideali di contatto colla soluzione meccanica di Papin, che con quella delle di lui soluzioni che iniziò la Storia della macchina a vapore.

IV. - Le proposte della 1.^a metà dell'ottocento (da BROWN a de CRISTOFORIS e JOHNSTON) si basano, con più decisa motivazione, sull'idea dell'imitazione del funzionamento atmosferico a vapore. B. e M. evitarono di porre in prima linea questo concetto. Essi anzi, come si vide, nel parlare delle esperienze in idrogeno ed ossigeno, dissero di aver cercato, nella presenza di gas inerti (o di aria in eccesso), un antidoto alle conseguenze non propizie del rapido raddensamento dei prodotti della combustione che giudicarono (linea 384 e segg.) solo effetto concomitante nel determinare il rapido ritorno dello stantuffo.

Indubbiamente dunque raffreddamento dei

(¹) Possiamo precisare altrimenti questi concetti dicendo che un'indagine generica della misura delle quantità di lavoro rese da qualsiasi ciclo, percorso da un gas con determinata spesa di calore per unità di massa dei prodotti della combustione, si può compiere considerando il ciclo termomotore come risultante dell'avvicinamento di due trasformazioni (o complessi di trasformazioni) percorse, l'una in senso crescente, l'altra in senso decrescente, fra la stessa coppia di volumi estremi, per modo che (come è implicito, del resto, nello stesso concetto di processo ciclico) ad ogni elemento percorso nell'un senso corrisponde un elemento della seconda trasformazione compiuto in senso inverso fra la stessa coppia di valori infinitamente prossimi del volume specifico.

prodotti (specialmente quando essi si trasformarono in costruttori) dovette loro sembrare benefico effetto valorizzatore del raggiungimento del loro primo intento, che fu, a primo aspetto, quello di un aumento nella resa di lavoro; che fu, in concreto, la realizzazione di una *sovraespansione dei prodotti della combustione*, operata dallo stantuffo il quale aveva raccolto l'energia messagli a disposizione dai gas durante l'espansione fino a pressione atmosferica.

La distinzione implicita nelle precedenti osservazioni non è solo formale.

La espansione fino alla pressione atmosferica dà altrettanto lavoro, quanto si ricaverebbe, in un motore ad azione diretta (non dunque in un motore atmosferico) esente da attriti, nel quale la *trasmissione d'energia non fosse differita*.

La espansione forzata susseguente, o, ripetendo la parola convenzionale, la *sovraespansione*, evita cessioni di calore, termologicamente deprecabili, alla fine della prima espansione; mentre il *raffreddamento dei prodotti entro al motore si giova*, nelle condizioni di temperatura ridotte nelle quali le cessioni di calore vengono a compiersi, a sovraespansione avvenuta, di alcune condizioni propizie per una loro intensificazione. Queste condizioni sono: la *lentezza della corsa di ritorno* in paragone alla rapidità della corsa in uscita, le *larghe superfici di raffreddamento*, che i grandi volumi finali fanno assumere ai cilindri e le *grandi masse di metallo* dei cilindri stessi, intese come masse refrigeranti.

Conseguenza si è la circostanza rivelata dalla fig. 7, che il *ritorno dello stantuffo*, nella parte del ciclo inferiore alla pressione esterna, si *compie a basse pressioni e temperature*, aumentando l'area attiva del ciclo e diminuendo la misura delle retrocessioni di calore all'ambiente. (¹)

Se la massa del gas astrattamente si assimila ad una molla di speciale natura, di forza espansiva non costante; ma soggetta a variare linearmente colla temperatura assoluta, può dirsi, che, scomposto il ciclo in modo da individuarne le infinite coppie di elementi iniziatisi, o facenti capo, coppia a coppia, ad uno stesso valore del volume specifico, la quantità elementare di lavoro con cui ciascuna coppia contribuisce alla resa di lavoro totale del ciclo è tanto maggiore, quanto maggiore è il lavoro compiuto nella espansione elementare della nostra molla ideale, e quanto minore è quello che si spende nella sua ricompressione; quanto maggiori o minori sono quindi, rispettivamente, data la presupposta parità, in fatto di volumi, per gli elementi di ciascuna coppia, le temperature assolute.

b) Riperussioni sul rendimento dei cicli B. e M. conti e sui limiti di rendimento dei cicli teorici della incompletezza (o delle difficoltà) di combustione proprie dei motori iniziati la combustione a pressione atmosferica.

I. - Il risultato pratico delle esperienze sui motori a ciclo Barsanti e Matteucci (ed, in particolare, i risultati delle cit. esperienze di Meidinger e di Ulerk sui motori Otto e Langen, a non parlare delle esperienze di Codazza, Hajech e Marini sul motore B. e M. della fig. 1) è lungi dall'idea precisa dei rendimenti, che, in senso unico-teorico, il motore Barsanti e Matteucci avrebbe potuto dare qualora non fossero esistite le difficoltà di combustione.

Ci proponiamo pertanto di far risaltare (giungendo, per lo studio teorico, anche ad alludere con riferimento limite alle esperienze iniziali di Barsanti e M. compiute impiegando combustibile ed a nelle proporzioni teoriche) come l'incompletezza della combustione abbia grandemente conturbati i rendimenti; e come la stessa incompletezza falsi il giudizio nell'apprezzamento dell'inconseguito grado di utilizzazione del calore di un motore avente i caratteri del ciclo rappresentato nella fig. 7, ossia del conseguito grado di utilizzazione del calore, tenuto conto delle quantità di calore utilmente somministrato e non di quelle

Notiamo che la sovraespansione seguita da processi di espansione di calore durante la corsa di ritorno concede, rendendo l'argomento del num. IV, (a parità di temperature e pressioni in quella parte della linea d'espansione che serve ad accelerare lo stantuffo libero, ossia la espansione fra la pressione d'esplosione e la pressione atmosferica) quale beneficio, che, durante la trasformazione a volume decrescente percorsa nello stesso intervallo (parziale rispetto al ciclo complessivo) di volume, le temperature siano inferiori a quelle che potrebbero ottenersi, ricorrendo, dopo compiuta l'espansione, alla pressione atmosferica, ad un semplice raffreddamento diretto. L'effetto refrigerante della sovra espansione è rapido e pronunciato.

Inoltre, considerando, colla guida della fig. 7, la parte residua del ciclo, la sovraespansione compiuta dallo stantuffo in condizioni d'elevata velocità media, e seguita da raffreddamento durante la corsa di ritorno a velocitàevolvemente inferiore, concede di aggregare al ciclo un'area attiva supplementare. Nel prolungarsi della corsa, la forza espansiva della molla ideale, se vogliamo conservare l'immagine, riesce superiore al valore che essa avrà quando il gas sarà forzato a diminuire di volume ripercorrendo in senso inverso la successione dei volumi di sovraespansione.

Desideriamo poi paragonare, facendo contribuire al commento anche questo richiamo, la 1^a e la 4^a soluzione a Mem. dei Georgofili, rilevando prima una analogia,

passate, col combustibile, non ossidate (od imperfettamente ossidate) allo scarico.

Riassumeremo essenzialmente quanto fu detto, in merito, nella 2^a N. cit.

II. - L'indagine compiuta partendo dal caso meglio appropriato alla valutazione dei massimi teorici di rendimento del ciclo Barsanti e Matteucci, ossia dall'ipotesi della combustione di un gas d'elevato potere calorifico nelle proporzioni d'aria teoriche, rappresenterebbe un metodo per misurare i limiti di possibilità del ciclo antico, qualora il suo andamento teorico si potesse, in quella ipotesi di alimentazione ed in quella della combustione istantanea e compiuta, facilmente fissare un modo univoco.

Mentre però è possibile, attenendosi alle norme classiche nel porre in termini i problemi del rendimento teorico di cicli termomotori, considerare l'espansione come una trasformazione adiabatica susseguente ad una somministrazione di calore a volume costante, non è possibile definire, in modo da rendersi conto, senza approfondita meditazione, (e senza conveniente apprezzamento del grado di approssimazione raggiunto) della natura dei fatti irreversibili che accompagnano (con innumerevoli cause di diversificazione da

quindi alcuni caratteri spiccatamente differenziali che danno, in senso costruttivo, l'idea della grande superiorità, sulla 1^a proposta, della soluzione adottata.

Con un artificio consueto nella espressione di concetti limiti può dirsi, che, dopo di essersi proposti di accumulare energia sul rovescio di uno stantuffo libero impiegandolo (prima soluzione) a comprimere aria in un serbatoio di capacità limitata, affinché l'aria riespandendosi rendesse più tardi con gradualità il lavoro accumulato, Barsanti e Matteucci stabilirono che a questa prima soluzione (impraticabile anche se all'aria si sostituivano i solidi elastici della terza soluzione) si poteva sostituire una soluzione perfettamente analoga, ottenuta però comprimendo l'aria in un serbatoio indefinitamente grande, quale è quello offerto, dalla Natura, nella massa atmosferica. Si evitava, per questo stesso fatto, ogni aumento di pressione a tergo dello stantuffo durante la sua escursione libera, rendendo massima, nelle condizioni praticamente realizzabili, la quantità di lavoro accumulata col ritardare il momento nel quale la pressione entro al cilindro cessava di essere attiva. Si rendeva successivamente massima la lunghezza della ulteriore frazione di corsa e la grandezza dei volumi estremi (od il grado di sovraespansione) ed, ancora, più sentito l'approfondimento delle temperature, dato che l'avanzamento veniva compiuto superando la sola resistenza della pressione atmosferica, minima, in ogni istante del processo di sovraespansione, in confronto di qualsiasi altra resistenza naturalmente concepibile.

caso a caso) il ritorno dello stantuffo. Convieni perciò iniziare l'indagine, prendendo in esame la fig. 7 (la quale offre l'idea del concreto andamento della linea inferiore del ciclo) prendendo le mosse dalla seguente riflessione comparativa:

III. - Nei motori ordinari a precompressione esiste un vincolo costruttivo fra rapporto volumetrico di compressione e rapporto volumetrico d'espansione. L'uno di essi è, secondo le definizioni correnti dei due rapporti, aritmeticamente, il reciproco dell'altro. Ogni tentativo di infrangere questo vincolo può dirsi, come fu già notato, praticamente fallito. Non è in questo momento opportuno di ripeterne la motivazione, ma solo il dire, che, in quelle condizioni (purchè naturalmente tutto il calore potenzialmente apportato dal combustibile venga tempestivamente sviluppato) è facile provare, che il *rendimento termico teorico del motore*, funzione del rapporto di espansione (di compressione) *rimane immutato, se si variano le proporzioni di combustibile apportato*.

Abbiamo indirettamente già avvertito che, quando nel motore a stantuffo libero, a parità delle volute condizioni, le somministrazioni di calore aumentano, aumenta il grado d'espansione. Aumenta cioè il volume in corrispondenza del quale la pressione raggiunge il valore della pressione esterna, e lo stantuffo, dopo aver cessato di raccogliere energia motrice, si prepara a *trasformare l'energia, raccolta come energia di moto, in energia potenziale* (vincendo la pressione atmosferica) ed aumenta, nel tempo stesso, il cammino percorso dallo stantuffo in corso di accumulazione, e, con esso, il grado di sovraespansione. Perciò si tendono ad avere temperature di somministrazione di calore, nella media, più elevate; e temperature di cessione più basse; e, quindi, rendimento più propizio.

IV. - Chi consideri il diagramma della fig. 7 in sè, vale a dire senza conoscere il modo con cui il motore veniva alimentato (e senza pertanto porre al passivo le quantità di calore, che, al rinnovarsi del ciclo, venivano potenzialmente apportate dal combustibile, ma soltanto quelle delle quali il diagramma lascia presumere l'effettiva somministrazione) è indotto a ritenere, che il diagramma sia quello di un ciclo di rendimento indicato notevolmente superiore al 25%, che,

come fu detto, possiamo al più attribuirgli in base a ricerche già citate sul motore *Otto e Langen*.

Una dimostrazione, nella quale il senso della facile evidenza, supera la la presunzione di rigore termodinamico fu fatta nella N. presentata all'Istituto Veneto, che qui si riassume.

Fu detto nel corso di quella dimostrazione, che, se sulla fig. 7, si abbassa, nel punto in cui la linea d'espansione taglia la linea atmosferica, una verticale, prolungandola fino ad incontrare la linea inferiore del ciclo, si separa, sulla sinistra, un diagramma, limitato lateralmente dalla linea di combustione (ossia da una linea il cui andamento si avvicina a quello di una linea di rappresentazione d'una fase di somministrazione di calore a volume costante) e dalla verticale immaginaria testè definita, la quale è atta a simboleggiare un'altra fase a volume costante; limitato in altezza, superiormente, dalla linea che rappresenta l'espansione fino alla pressione atmosferica; ed, in basso, da una parte della curva di compressione; e, superata la pressione atmosferica, dall'inizio della linea che rappresenta la fase di scarico.

Non occorre dilungarsi molto per stabilire, che il diagramma, che fù così individuato, non è molto dissimile, per composizione, dal diagramma di un motore moderno a compressione preliminare; ed è facile aggiungere, dopo aver letto in iscala il rapporto fra i volumi nel punto di inizio della combustione e nel punto in cui la pressione è discesa al valore atmosferico, che, se una decisa assimilazione del nostro ciclo parziale col ciclo di un motore a precompressione fosse possibile, il ciclo stesso dovrebbe dare un rendimento termico, compreso, scegliendo limiti larghi, fra il 30 ed il 35 %.

E' facile persuadersi che le linee, le quali chiudono inferiormente il diagramma parziale, non consentono quella decisa assimilazione al ciclo ad esplosione della quale fu parlato nell'ultimo capoverso; poichè il loro andamento diverge da quello della adiabatica facente capo al punto di inizio della combustione, che, nel ciclo moderno, rappresenta la compressione.

Le effettive linee inferiori sono cioè compiute a pressioni superiori a quelle che corrisponderebbero, volume a volume, al citato andamento adiabatico, e quindi la differenza, di cui parliamo, conduce ad una contrazione di rendimento.

Non si ha tuttavia difficoltà a provare, e basta per questo la semplice ispezione della figura,

(per chi abbia famigliare l'andamento, in coordinate pressioni volume, delle linee di rappresentazione delle trasformazioni adiabatiche dei gas) che la diminuzione d'area del ciclo (la diminuzione delle quantità di lavoro da esso ricavate) può, per il carattere della linea inferiore, essere compensata dall'area che è rimasta separata alla destra del disegno nella parte depressa del ciclo. Per questo la presunzione di rendimento termico astratto notevolmente superiore al 25 % rimane avvalorata.

V. - Potrebbe discutersi a lungo il fatto che noi ci riferiamo ad un ciclo effettivo e facciamo delle considerazioni di rendimento teorico sulla base del concreto rapporto di espansione, sul quale influivano *somministrazioni di calore tardive*, dovute al prolungarsi della combustione nel corso della fase di espansione.

Fatto però questo accenno, affinché il Lettore non avverta la mancanza di qualsiasi riserva in materia, riteniamo che il fine dimostrativo sia ugualmente raggiunto. Così rinunciamo al tentativo di comporre un preciso diagramma entropico del ciclo, diagramma entropico il quale concederebbe, nei riguardi della valutazione del rendimento una approssimazione maggiore, ritenendo che questa analisi precisa esuli dall'intento, più generale, del presente commento. ⁽¹⁾

VI. - Per avere il concetto qualitativo della progressività dei rendimenti coll'accrescersi delle somministrazioni tempestive di calore ci siamo serviti di un esempio, appoggiato ad un elemento preso da quegli studi sui motori atmosferici a gas del prof. *Bernardi*, che furono, in alcuni dei loro risultati, illustrati con qualche ampiezza nella comunicazione del 1927 e furono anche ricordati nelle precedenti annotazioni al Manoscritto Ximiano.

Attingiamo l'esempio a quella Fonte, anche per il dovere di ripetere che l'A. cit. *compì esperienze*, valendosi, senza certamente averne conoscenza, *di un mezzo sostanzialmente identico a quello usato da Barsanti e Matteucci*. Questo, rammentandosi così esperienze assai più recenti, riavvicina a noi, nel tempo, il concetto delle an-

tiche, e toglie ad esse il carattere di esperienze compiute con mezzi primitivi e criteri arcaici, come fu già annotato.

Il *Bernardi*, determinate sperimentalmente le proporzioni più convenienti di un miscuglio di gas d'elevato potere calorifico e d'aria, calcolò, che, nell'ipotesi della combustione a volume costante seguita da un'espansione adiabatica, la pressione teorica di fine combustione avrebbe dovuto raggiungere le 10 at.; mentre il rapporto totale d'espansione avrebbe dovuto essere di 1 a 17,5.

E' facile calcolare, che, attribuendo ai prodotti della combustione le qualità di un gas perfetto, avente le caratteristiche dell'aria a temperatura ordinaria, la linea d'espansione adiabatica viene a tagliare la linea atmosferica sotto un volume quintuplo dell'iniziale

Siamo, con questo, lungi dal poter ripetere, rinnovando le considerazioni precedenti, l'approssimativa sostituzione del ciclo, di cui non conosciamo l'andamento della linea inferiore, con un ciclo a precompressione con rapporto di compressione uguale a 5. Però, se noi ci riferiamo al valore del rendimento teorico (0,48 %) di un simile ciclo, abbiamo già il senso concreto della possibilità di ottenere risultati teoricamente assai notevoli.

VII. - La *marcia in proporzioni teoriche di aria e combustibile* può portare, per chi voglia spingere l'indagine verso un'ipotesi limite (come fu detto iniziando il §) ad un ulteriore aumento di rendimenti.

Immagineremo, per esempio, di servirci del gas d'olio, già precedentemente definito (gas del pot. cal. inf. dell'ordine delle 10000 Cal/kg., con un fabbisogno teorico di aria di combustione di chilogrammi 14 per kg. di gas, assumendo che i prodotti della combustione abbiano un calore specifico $[c_v]$ di 0,169 Cal. per kg.) e che la temperatura iniziale di combustione coincida colla temperatura esterna, fatta uguale a circa 290° ass.

Un semplice calcolo conduce a stabilire, per la pressione massima, un valore superiore alle 13 atm. ed un rapporto d'espansione teorico, nel passaggio adiabatico dalla pressione massima alla pressione atmosferica, superiore ad 1 a 6. Rinovate le riserve precedenti, per l'ignoranza in cui ci troviamo sull'andamento delle linee inferiori,

⁽¹⁾ Nella N. che veniamo riassumendo figura uno schema entropico del ciclo in discussione, tracciato anch'esso nella ipotesi della espansione adiabatica.

osservaremo che il rendimento del ciclo teorico a precompressione con rapporto di espansione di 1 a 6 è già superiore al 50%. Aggiungeremo, dopo di aver però auspicato una ricerca meglio esauriente, che il rapporto di espansione 1 a 6 è fra i valori più elevati fra quelli correntemente raggiunti dai motori a compressione di miscuglio.

Rimane in definitiva (pur attraverso a molte indeterminanze ed alla presunzione di grandi difficoltà nel realizzare effettivamente un miglioramento delle condizioni di combustione, in una eventuale esecuzione, a scopo storico-sperimentale, dell'antico motore) il senso, che il rendimento teorico limite del motore stesso potrebbe rappresentarsi con valori, ancor oggi, cospicui.

Dato che noi abbandoneremo, d'ora innanzi, il concetto puro del motore per riferirci rapidamente alle conseguenze termologiche di un abbinamento del principio del funzionamento a so-

vraespansione col funzionamento a precompressione, era necessario aver indicato questa possibilità astratta di risultati, a prima vista, sorprendenti, affinché fosse sempre meglio chiarita la differenza dal motore atmosferico puro; ed anche si evitasse che nella considerazione del connubio dei due principi (abbinamento nel quale la sovraespansione avrebbe soltanto funzioni integrative) l'antico principio potesse, ad un esame superficiale, apparire menomato in fatto di prospettive d'efficienza.

Diciamo esame superficiale, inquantochè la possibilità di ottenere un numero discreto di unità di rendimento in più di quelle a cui può condurre il ciclo a precompressione, rappresenta sempre per noi, come si dirà in tutto ciò che segue, anche solo come risultato teoretico, un risultato di eccezionale pregio.

6. Principio costruttivo di Barsanti e Matteucci, motore a precompressione e problemi di massimo rendimento dei cicli teorici.

a) *Sulle prospettive tecnico teoriche di una armonizzazione del funzionamento a stantuffo libero col funzionamento a precompressione.*

I. - Adombrato il significato limite del ciclo antico, si avverte che l'analisi non è esaurita.

Nella comunicazione 1927, con cautela che appare oggi soverchia, fu accennato, con timore di svisare il pensiero di *Barsanti e Matteucci* e senza trarre, del resto, dall'accenno conseguenza qualsiasi, al problema a cui allude il titolo. Il manoscritto Ximeniano, il quale ci ha condotto a vedere i Ricercatori italiani non più nella semplice veste di costruttori; ma in quella di assertori, col linguaggio proprio del Loro tempo, di un principio di grande massima, finì di togliere ogni esitazione nel rinnovarne la formulazione e nell'approfondirne l'esame nella N. ripet. cit.

Fu già detto che dell'argomento fu inquadrata la discussione in quella Sede per evitare che questa trattazione divenisse eccessivamente complessa e disomogenea. La discussione viene dunque soltanto riassunta, affinché le sue conclusioni non vengano meno all'intento di coronare in forma diretta il commento del manoscritto Ximeniano che ne ha promosso le deduzioni.

Il riassunto è altresì, per brevità e per il dovere di evitare ripetizioni, rigorosamente schematico.

II. - Incominceremo col dire, ad introduzione, che la armonizzazione; per uno studio tecnico teorico, dei due principi funzionali appare postulata da un complesso di circostanze; prima delle quali è l'idea elementare di quella forma di addizione di rendimento, che è concessa dalla combinazione del funzionamento atmosferico col funzionamento ad alta pressione nella motrice a vapore. Ciò suggerisce di per sé lo studio di un sistema di *duplice espansione*.

Una circostanza, teoricamente amplificatrice, deriva dal concetto che l'intreccio dei cicli può riuscire più proficuo del citato avvicinamento. A parità di somministrazione di calore per unità di massa di prodotti della combustione, la compressione preliminare accresce il lavoro dell'espansione fino a pressione atmosferica. Per facile conseguenza, essa porta, poichè lo stantuffo libero viene ad accumulare quella maggior quantità di lavoro, ad un pronunciarsi della sovraespansione, se si concepisce, a guisa di soluzione unitaria, che *l'esplosione avvenga direttamente sotto uno stantuffo libero*.

Deve aggiungersi, in via generale, che la compressione è mezzo certo per avvicinare la combustione (che viene a compiersi sotto forti pressioni ed a regimi di temperatura più elevati) a condizioni di compiutezza.

Avvertiamo quindi che l'indagine riesce più convincente col sussidio di figurazioni costruttive; e, che d'altra parte (quando il motore a stantuffo libero non si consideri come motore di seconda espansione, ma lo stantuffo libero abbia le funzioni di stantuffo principale) si debbono definire con chiarezza i limiti entro i quali può ancor concepirsi l'idea della libertà dello stantuffo.

Perciò aggiungeremo un accenno al possibile schema di motore, pur inteso colle semplificazioni concesse dalla ricerca teorica (e limitatamente all'ipotesi della seconda soluzione) dicendo:

Nella N. cit. sembrò possibile proporsi per questo ultimo scopo uno schema rispecchiante molti caratteri del motore *Barsanti* e *Matteucci*, salve, ai fini della materializzazione, due modificazioni, una necessaria per addivenire all'impiego di miscuglio combustibile (o di aria) precompressa, l'altra necessaria per armonizzare il funzionamento ad una elementare esigenza di questo impiego, quella cioè di bloccare per un periodo conveniente lo stantuffo durante la compressione (o durante l'introduzione dei gas precompressi) e durante la stessa combustione, per realizzare condizioni di massima efficienza.

Per la precompressione fu considerato equivalente, dal punto di vista teorico, il valersi di miscuglio compresso fuori cilindro od il compiere la compressione entro al cilindro. Si è supposto di valersi in questa 2^a ipotesi (circostanza preannunciata nel § 2) dello stantuffo ausiliario di *Barsanti* e *Matteucci*.

Per quanto riguarda il blocco temporaneo dello stantuffo fu fatto notare, che essenza del funzionamento antico era la libertà dello stantuffo durante l'espansione; che, d'altronde, gli stessi nostri Sperimentatori, in singole ricerche, erano ricorsi, come si è detto, a forme di blocco dello stantuffo, vincolandolo mediante una fune. Si trova, nel suggerimento che da ciò deriva, certezza di non travisare ingiustificabilmente i concetti degli Inventori.

III. - Il calcolo del rendimento, per ragioni identiche a quelle che hanno condotto ad evitarlo nei casi precedenti, si è limitato ad una indagine di orientazione, alla quale sono state poste a base le ipotesi seguenti:

Si è ammesso di compiere un ciclo ad iniezione meccanica di combustibile col rapporto di compressione di 12,24, al quale corrisponde (nelle consuete supposizioni sulla natura del fluido motore ed in quella della combustione a volume costante)

un rendimento teorico del 64%. Si è supposto inoltre di impiegare, come combustibile, *olio da gas* del pot. cal. inf. di circa 10000 Cal.kg. in una marcia col 20% di eccesso d'aria sul teorico.

Un calcolo famigliare nelle indagini teoriche sui motori ha permesso di fissare la pressione di fine espansione di un ciclo a quattro tempi, percorso, nelle condizioni citate, a partire dalla temperatura di 290°, quasi esattamente in 5 atmosfere, ossia nella pressione massima del ciclo della figura 7, del quale si conosce l'andamento della linea inferiore, e del quale si è cercato, approssimativamente, di valutare il rendimento termico puro.

Ciò posto, il ciclo, tanto nella rappresentazione meccanica quanto nella rappresentazione entropica, può essere rappresentato dallo avvicinamento del ciclo a precompressione originario, al ciclo rappresentato dalla fig. 7, e (per l'approfondirsi della espansione nel caso della soluzione integrale, fino a portare teoricamente i gas, a fine sovraespansione sotto i 100 centigradi) di un'area addittiva, che, per la asserita difficoltà di chiudere il diagramma, si dovette lasciare indeterminata. Si tenne pertanto conto solo dei due primi elementi.

Ridotto il problema della valutazione del rendimento alla forma approssimata per difetto alla quale si è così alluso, si è ammesso che il rendimento stesso fosse uguale alla somma del 64% dianzi ricordato e di quello che poteva effettivamente essere il complemento dovuto al ciclo di rendimento uguale a quello del ciclo rappresentato dalla fig. 7. Si è fatto presente che questo rendimento, riferito al 36% di calore portato allo scarico, doveva valutarsi fra un minimo del $36 \times 0,25 = 9\%$ (0,25% essendo il valore dell'antico rendimento termico pratico, che noi sappiamo però viziato dal fatto di esser valutato in un caso di combustione incompiuta) ad un massimo forse dell'ordine del 12%, (nell'ipotesi, che il rendimento termico sotto cui le 36 parti percentuali del calore portato allo scarico possono ritenersi utilizzate, ascenda al 33% circa).

Questo concesse di dire che il rendimento del ciclo corrispondente alla soluzione più generale dovrebbe certamente superare il 75%, dato che l'espansione in quel caso terminava, come fu avvertito a meno di cento centigradi e che era assolutamente presumibile che la linea inferiore del ciclo corresse, nella media, a temperature e pressioni sensibilmente inferiori a quelle del nostro ciclo di seconda espansione, o, ciò che tornava (nell'ipotesi particolare e per una casuale coinci-

denza utile ai fini dimostrativi) lo stesso, a quelle del ciclo rappresentato dalla figura 7.

Si rinunciò in questo esempio, per alcuni rispetti, esempio limite (a meno di non portare in campo, come del resto fu fatto rapidamente (loc. cit.) l'esempio del ciclo compiuto con proporzioni teoriche di aria e combustibile e di non prospettarsi, come è auspicabile venga fatto, anche le conseguenze di un aumento del rapporto di compressione al di là dei limiti consacrati dalla pratica) con maggior rincrescimento ad un calcolo compiuto di rendimento. Parve però che proprio il carattere attribuibile all'esempio, facendo difetto il tempo per una ricerca adeguata, ⁽¹⁾ rendesse meno opportuno l'avanzare cifre senza i voluti controlli.

IV. - Si deve avvertire che abbiamo espressamente trascurato di tener conto della possibilità di valersi di un mezzo di *accentuazione dei processi di raffreddamento a fine espansione* del quale pur si valsero i motori a stantuffo libero, ossia dell'*iniezione d'acqua*; L'influenza di questo mezzo di raffreddamento, nelle singolari condizioni di pressione che vengono a crearsi a fine espansione, merita di essere oggetto di adeguata meditazione. Non vi insisteremo tuttavia in questo momento, appagandoci di aver rinnovato un accenno all'argomento che abbiamo già visto figurare, in forma descrittiva, nella Relazione dello Istituto Lombardo.

Deve dirsi, concludendo, che anche il risultato approssimato per difetto, nel quale è implicito il giudizio su quello che può essere, nel motore fortemente alimentato il beneficio della seconda espansione compiuta col dispositivo di *Barsanti e Matteucci*, è già eloquente. Deve aggiungersi che esso ci fa avvertiti della esistenza di una causa rallentatrice delle possibilità di aumento di rendimento (per un determinato rapporto di compressione), nell'avvicinarsi della temperatura di fine espansione alla temperatura esterna, argomento questo su cui si ritornerà, considerando il problema sotto un altro aspetto, prima di finire.

V. - Romperemo, (solamente in forma di appendice) il riserbo impostoci dichiarando di voler considerare solo gli aspetti tecnico-teorici del problema, per fermarci brevemente sulla circostanza, che la semplice aggiunta di un ciclo analogo a quella della fig. 7 (ossia la semplice disposizione del cilindro a stantuffo libero come cilindro di seconda espansione) avvicina già al risultato massimo

⁽¹⁾ Dato il rispettoso impegno di compiere il pre-studio prima della fine della esposizione scientifica in Firenze.

superando largamente il 70 %; mentre riavvicina a noi il senso di possibilità costruttivo sperimentale della risoluzione. (Diciamo costruttivo-sperimentale poichè nella delicata indole dell'argomento, noi parliamo di una materia, che concede di auspicare un'esperienza, ma non di caldeggiare applicazioni, nel vero senso industriale).

Sia lecito poi, ripetere ancora, sostituendo al ciclo ideale a precompressione un ciclo reale, che, il ciclo reale, il quale abbandoni i gas a pressioni dell'ordine delle 5 atmosfere, ossia a pressioni dell'ordine di quella che forma il nostro riferimento preferito, per esser essa coincidente colla pressione superiore del ciclo della fig. 7, non è interamente astrazione.

Sovralimentazione e proporzioni elevate di combustibile hanno reso possibile questo risultato. Non è anzi escluso, che aumenti di sovralimentazione od il diffondersi di sistemi di raffreddamento dei motori mediante forme di circolazione ad alta temperatura (atte a dare, secondo esperienze in corso, vapore a bassa pressione) possano, diminuendo, a rendimento indicato pari, le perdite per raffreddamento, anche accentuare, in singoli casi, il valore della pressione di scarico e le quantità di calore disperse coi gas (e, quindi, concretamente le quantità di lavoro recuperabili dal motore a stantuffo libero).

I cicli reali di cui parliamo, comprendono, nel campo dei motori lenti ai quali si deve qui restringersi, i grandi motori a gas ed i grandi motori ad olio pesante con rendimenti globali, per quelle marcie le quali concedono lo scarico a pressioni ragguardevoli, che vanno forse (dalla prima alla seconda categoria) dal 26 al 38 %, con rendimenti indicati dell'ordine del 30 al 45 %.

Qualora realmente la seconda espansione potesse, noi parliamo sempre in campo teorico sperimentale ed evitando il problema applicativo, aggiungere, ad esempio, il 10 % ai citati rendimenti indicati (ricuperando dai gas di scarico unicamente quella aliquota del 25 % che ha già trasformato in lavoro indicato il motore antico) e che, siamo certi, è inferiore al rendimento indicato del ciclo non inasprito da difficoltà di combustione) un passo notevole si sarebbe fatto nell'ampliare i limiti sperimentali del rendimento indicato; e l'eventuale motore di ricerca potrebbe entrare, in onore dei nostri Precursori, nell'ambito delle soluzioni degne di ricordo nella storia degli studi sulle motrici termiche. ⁽¹⁾

b) L'ideazione di *Barsanti e Matteucci*, il problema degli elevati rendimenti teorici dei processi di trasformazione di calore in lavoro e la seconda proposta di Diesel.

I. - Il motore a precompressione, nella forma a quattro tempi, che deve considerarsi forma imperante, o, comunque, per quanto lievi siano ormai le differenze, forma di maggior rendimento pratico, ebbe definizione costruttiva e termodinamica nel 1861 (BEAU de ROCHAS). Diciamo definizione termodinamica, in quanto l'Ingegnere francese enunciò, che *il rendimento sarebbe cresciuto indefinitamente al crescere del rap-*

⁽¹⁾ La N. del R. I. V. porta uno schema, il quale, senza illudere sulla semplicità della soluzione (la quale dovrebbe eventualmente saggiarsi su una piccola unità di laboratorio) dimostra solo che essa potrebbe non condurre a forme di mostruosità costruttiva.

porto di compressione (pur prevedendo, che, operando compressione promiscua di combustibile ed aria, come egli proponeva, non si sarebbero potuti oltrepassare i limiti segnati dal pericolo d'accensione premature).

DIESEL trovò modo di eludere il pericolo di preaccensione colla compressione separata dell'aria e però riuscì nell'intento solo con forme di combustione graduale. Ciò è universalmente noto.

La pratica recente riuscì ad accostarsi, anche nei motori a compressione separata, alla somministrazione di calore a v. c. del ciclo *Beau de Rochas*. Può dirsi pertanto, che quella antica formulazione, segna sempre i limiti di ciò che il motore a precompressione potè realizzare; che essa apre la via a rendimenti termici massimi fra quelli di tutto ciò che fu costruttivamente tentato (macchine a vapore incluse) di realizzare nel campo delle concrete applicazioni.

II. - Il motore a combustione, nella ricerca degli elevati rendimenti ebbe però formulazione eccedenti, in prospettive di rendimento, il ciclo *Beau de Rochas* ⁽¹⁾. E' noto che Diesel si propose originariamente (1893) la realizzazione di un ciclo perfetto, dividendo la compressione in una sezione isoterma ed una adiabatica; rinunciando però subito dopo (1894) ed affrontando invece la realizzazione sperimentale di un ciclo avente una somministrazione di calore isoterma, fra una compressione adiabatica, partente dalla temperatura esterna ed una espansione adiabatica necessariamente limitata nel senso delle temperature, dato che una parte del salto di pressione sarebbe già stata utilizzata sul corso dell'isoterma superiore.

Il ciclo dunque, nella migliore ipotesi (espansione fino alla pressione esterna) avrebbe dovuto chiudersi con una fase di raffreddamento a pressione costante. Esso poteva, comunque, facilmente offrire, a pari somministrazione di calore, con temperature superiori limitate, rendimenti teorici superiori a quelli del ciclo *B. d. R.*

L'insuccesso sperimentale è circostanza nota. Nondimeno per gli studi tecnico teorici la ricerca relativa può rappresentare uno dei tentativi più arditi. Su esso pertanto l'assunto di questo § conduce a ritornare se, anche in questo caso, la marcia a stantuffo libero può teoricamente aumentare i rendimenti portandoli fors'anco a superare

⁽¹⁾ Detto anche (in onore di Otto, il quale, come fu, per noi, continuatore dell'Opera di Barsanti e Matteucci, fu anche il costruttore del motore a quattro tempi industriale): ciclo *Beau de Rochas - Otto*.

a temperature superiori ridotte, quelli della combinazione precedente, al principio della sovrespanzione può aggiungersi un'altro elemento di significazione.

III. - Prima di realizzare il citato proposito, il quale ci allontanerà dalla odierna realtà costruttiva e dall'argomento del § prec., è opportuno riassumere quanto fu detto in quel § prospettandolo nella Storia del motore, della quale costituiscono un ricordo saliente le stesse ricerche di Diesel.

Diremo pertanto:

Dopo *Beau de Rochas*, studi ai quali fu alluso anche in questa trattazione, incessantemente saggiarono, finora senza risultato, il problema della espansione prolungata fino alla pressione atmosferica in condizioni di efficienza prossime alle teoriche.

Virtualmente invece, per poco che la concezione di *B. d. R.* e la concezione precedente di *Barsanti e Matteucci*, anzichè esser considerate antagoniste, almeno ai fini degli studi teorici si fossero associate, la tecnica avrebbe disposto, fino dal 1861, di due combinazioni, che chiamammo: di avvicinamento l'una; di intreccio, l'altra dei due cicli, le quali, una in grado minore dell'altra, superavano per possibilità di rendimento quanto è stato successivamente tentato.

Nei primo caso (doppia espansione - 2ª espansione a stantuffo libero) si poteva aspirare ad una addizione di rendimento; nel secondo (combustione sotto uno stantuffo liberato a fine combustione) il risultato poteva accentuarsi (per approfondimento delle temperature inferiori).

Ci domandiamo ora, se, fisso il principio della precompressione, il concetto antico dei nostri Inventori si presti a ravvivare anche il principio del motore a combustione disciplinatamente graduale, ai fini della conquista teorica di rendimenti ancora più elevati.

Come corollario dei casi già trattati, si possono dunque ricercare le conseguenze teoriche di analoghe combinazioni nel caso del 2º ciclo proposto da Diesel appoggiandosi sullo stesso esempio fatto da quell'Inventore.

Il ciclo cit. aveva le seguenti caratteristiche: Pressione mass. 90 atm., temperatura massima 1073° ass. Il rendimento teorico declinava col crescere della durata della fase di somministrazione di calore (per l'innalzarsi della temperatura di fine espansione adiabatica, al decrescere del salto di pressione disponibile per la stessa espansione).

Il rendimento massimo, nel caso dell'espansione

sione isotermica fra 90 e 70 atm., era : 0,722; esso discendeva, ad es., a 0,686 per l'espansione isotermica protratta fino a 30 atm.; e sotto il 0,6 per l'espansione isotermica protratta fino a 5 atm.

Diremo dapprima, in generale :

Le cose dette ci hanno già assuefatto a stabilire che tutti questi rendimenti avrebbero potuto essere oltrepassati ricorrendo alla sovraespansione, onde, nel primo caso, si sarebbe potuto superare (con un ciclo di 800° centigradi di temperatura massima) il 72 % di rendimento; e, negli altri casi, essendo maggiore la quantità di calore somministrate, e, quindi, potendo essere maggiori le quantità di energia raccolte dallo stantuffo e maggiore il volume da esso generato vincendo la pressione atmosferica, si poteva ottenere un avvicinamento, nei rendimenti, al caso più favorevole.

IV. - Chi esami ni poi, a semplice titolo di esempio, la 2ª ipotesi fra le tre surriferite, nota che, protraendosi la pressione fino a 30 atm., il salto di pressione utilizzabile nell'espansione fino alla pressione atmosferica si riduceva ad un terzo. Se, quindi, pensando alla combinazione col ciclo *B.* e *M.*, il ciclo si era iniziato alla temperatura, esterna, per poterla raggiungere alla fine della sovraespansione, sarebbe stato necessario che la pressione finale discendesse ad un terzo di atmosfera.

E' noto infatti che adiabatiche di un gas perfetto aventi un determinato rapporto fra le pressioni esterne hanno anche un rapporto uguale fra le temperature assolute corrispondenti.

Chi interroghi il diagramma della fig. 7, nota quanto facile sia stato raggiungere pressioni finali dell'ordine di grandezza cit. in un caso in cui l'energia raccolta dallo stantuffo era molto modesta.

Ristrettezza di tempo e desiderio di semplicità d'esposizione consigliano nuovamente di evitare verifiche numeriche. Appare non di meno significativa la possibilità di raggiungere, con un ciclo con sole 90 atm. di pressione massima ed 800° (centigradi) di temperatura massima, un rendimento il quale supera il 68,6 % tendendo forse a classificarsi fra il 72 % della prima delle citate ipotesi di *Diesel* (sulle quali gravava però l'incognita della espansione prolungata fino alla pressione atmosferica) ed il 74,2 % del ciclo perfetto.

Qualunque sia, del resto, quel valore del rendimento, sul quale, per le ragioni esposte, ci è tolto in questo momento di indagare, sta il fatto che la linea inferiore del ciclo avente i due estremi

a temperatura ambiente, non è più, come sarebbe necessariamente avvenuto per la prima linea del ciclo originario di *Diesel*, una fase ad andamento sempre crescente nelle temperature (data l'impossibilità di sottrarre tempestivamente le quantità di calore necessarie per renderla isotermica).

L'aprirsi dello scarico nel momento in cui si raggiungerebbe la pressione atmosferica (a prescindere dalle cause che favoriscono il raffreddamento dei gas sovraespansi) darebbe alla rappresentazione entropica della fase inferiore andamento spezzato, concedendo di chiudere il ciclo con la linea di raffreddamento (fino a temperatura esterna) a pressione atmosferica.

Il ciclo avrebbe dunque *tre fasi coincidenti con quelle del ciclo perfetto* e la quarta fase ad una temperatura media ribassata con il punto iniziale ed il punto finale alla temperatura inferiore.

V. - L'appendice alla Comunicaz. rip. cit. fu dedicata al problema al quale si riferisce il § presente; e fu ivi fatto notare, come, anche pensando semplicemente al modo di procurarsi uno schema funzionale astratto, nell'intento di appoggiare su di esso le considerazioni teoriche, si renda necessario evitare lo schema costruttivo presupposto nello studiare la soluzione integrale a stantuffo libero.

Si rilevò cioè che la combustione, per la stessa ipotesi di partenza, nel caso del secondo ciclo di *Diesel* non potrebbe compiersi altrimenti che a stantuffo mobile; e questo in modo subordinato (attraverso alle richieste della combustione a temperatura costante) alla misura delle successive somministrazioni di calore.

Si è però anche mostrato, che, qualora si fosse supposto (per valersi dei calcoli già fatti) di compiere un ciclo avente in comune, col ciclo precedentemente studiato, temperatura superiore e somministrazioni di calore, la soluzione integrale, considerata, per un momento, funzionalmente possibile, *avrebbe condotto a sovraespansione eccessiva, in quanto*, presumibilmente, la temperatura finale sarebbe discesa notevolmente al di sotto della temperatura esterna, portando a regimi per i quali (esclusa naturalmente possibilità di cessioni di calore) si sarebbe, per contrapposto, avuto, nel ritorno rallentato dello stantuffo, un assorbimento di calore, nocivo al rendimento del ciclo.

Si è giunti così, in definitiva, alla presunzione che in condizioni appropriate il ciclo a duplice espansione conceda la risoluzione del problema, permetta la proposizione di un *corretto schema funzionale*; e si presti ad evitare sovraespansioni eccessive.

VI. Si è poi desiderato di concludere (per sintetizzare il concetto del principio discusso, col porre il concetto stesso in relazione colle condizioni in cui funziona, in campo di basse temperature, la macchina a vapore, ossia la motrice classica, che noi stessi abbiamo dovuto ripetutamente prendere a riferimento) con un sommario paragone delle proprietà delle due classi di corpi aeriformi impiegate. Si è così posto in rilievo, come il principio della sovraespansione forzata, secondo *Barsanti e Matteucci*, si avvan-

taggi, a parziale riscatto delle condizioni di inferiorità in cui si trovano i cicli motori a combustione in campo di bassa temperatura, del privilegio che hanno i gas, di non essere inceppati, nelle emissioni di lavoro che accompagnano le loro espansioni, da azioni molecolari. Queste azioni richiedono, nei vapori, per essere superate, la prestazione di larghe quantità di energia, le quali si rendono latenti; e sono però riutilizzate nell'avvicinamento fra le molecole che caratterizza la fase inferiore.

Le grandi quantità di lavoro esterno compiute, a parità delle volute condizioni, dai gas, accumulate dallo stantuffo libero, permettono nel caso nostro di approfondire la misura della sovraespansione e di contenere le temperature delle linee inferiori dei cicli (sia pure intesi come cicli teorici) che ad essa sovraespansione ricorrano.

7. Ricapitolazione.

I. - Ritenuto acquisito il concetto della fruttuosità dell'impiego della energia meccanica, prodotta nel percorso del ciclo, per determinare, teoricamente senza passività, una sovraespansione dei gas, le cose esposte, sia nelle varie conclusioni formulate, che nelle richieste di indagine ulteriore e nell'allusione alle applicazioni, possono riassumersi nel modo seguente:

1. - Il motore *Barsanti e Matteucci*, *diede risultati memorandi nella storia della lunga lotta per i maggiori rendimenti delle motrici termiche. Il risultato avrebbe però potuto essere altrimenti cospicuo, se la combustione iniziata a pressione ambiente non fosse stata difficile ed imperfetta.*

Rimase ad auspicare, all'infuori del desiderio di una indagine teorica più compiuta, e senza dissimularsi l'impegno materiale della eventuale esperienza, *un rinnovo del motore.* Questo dovrebbe possibilmente farsi tenendo conto di concetti moderni della tecnica della combustione e della tecnica costruttiva. Può aggiungersi all'espressione di questo voto (ripresa dalla Comunic. del 1927) quella che possa trarsi partito dal suggerimento, del manoscritto Ximeniano, di *bloccare lo stantuffo durante l'esplosione, scegliendo però un mezzo di blocco rigido e risolubile a comando* (onde evitare che i gas dissipino

lavoro nel deformare ed annientare il legame; ed evitare altresì che la risoluzione del legame stesso sia prematura).

Dal manoscritto Ximeniano può anche derivarsi il suggerimento di sostituire al motore, qualora la ricostruzione sia, come appare, eccessivamente laboriosa, un semplice, e, però adeguato, *dispositivo sperimentale*, secondo il sistema usato da *B. e M.* Questo può sempre concedere di ricavare elementi di riferimento per uno studio definitivo del ciclo antico.

2. - Il motore *Barsanti e Matteucci* ha da antichissimo tempo, rispetto alla breve storia dei motori, *risolto il problema della espansione prolungata fino al sotto della pressione atmosferica; mentre, ad oggi, l'annoso problema del prolungamento efficiente della espansione nei motori a combustione interna, e solo fino verso la pressione atmosferica, è lungi dal potersi dire risolto.*

Le esperienze, di cui fu parlato nell'ultimo capov. del num. prec. possono consentire di ricercare, ove si rallenti il ritorno dello stantuffo (anche nello stesso apparecchio sperimentale) quali siano i limiti del vantaggio ottenibile. Rimane a vedere, se, in determinati casi, sia possibile raggiungere sperimentalmente l'intento di creare un motore a *duplice espansione, commettendo la seconda espansione ad un stantuffo libero* e ricercando (anche senza rivolgere l'at-

tenzione più all'applicazione, che non alla conoscenza scientifico tecnica) se vi sia modo di ricavare un risultato eloquente in fatto di concreti rendimenti indicati.

3. - L'intreccio di uno dei correnti cicli a precompressione col ciclo *Barsanti e Matteucci*, o, reciprocamente, *il ciclo B. e M. preceduto da compressione preliminare* in un cilindro unico a stantuffo libero (durante l'espansione) concede di superare il rendimento della combinazione ultima cit. e di ricercare il massimo dei rendimenti compatibili col complesso delle soluzioni che ebbero fin qui pratica attuazione.

Rimangono, come nel 1° caso, desiderabili ricerche accurate di rendimento teorico; e senza dissimularsene la delicata difficoltà, eventuali esperienze con un apparecchio analogo a quello impiegato nelle ricerche di *Barsanti e Matteucci*, introducendo però i gas previo compressione.

4. - Può essere teoricamente significativo, per la ricerca di massimi di rendimento corrispondenti a singoli valori della temperatura superiore del ciclo, il ripetere le indagini del num. prec. (con riferimento a quanto fu esposto nel § prec.) per il 2° ciclo studiati da *Diesel* a parziale realizzazione del ciclo di *Carnot*, onde stabilire in quali condizioni la temperatura di fine espansione, coincidendo colla temperatura iniziale, possa permettere di realizzare una terza fase del ciclo perfetto ed abbassare la temperatura media della linea inferiore in confronto degli altri casi qui considerati (od in confronto di cicli altrimenti proposti).

II. - Può dirsi da ultimo: In ogni ramo di studi applicativi e particolarmente nella tecnica

delle motrici termiche, arte seminata di illusioni e tormentata fino ad epoche non lontane da profonde incertezze, riesce preziosa la conoscenza anche di prospettive teoriche che formino, in forma rigidamente corretta, un termine di paragone per le ideazioni della pratica.

Barsanti e Matteucci offrono col Loro suggerimento termini di riposo all'infaticata ricerca astratta dei massimi rendimenti e recano insigne risonanza della freschezza di concezioni dell'epoca in cui complesse responsabilità, categoriche richieste degli esercizi industriali e giusto impero di forme ormai rese mature da una selezione senza indulgenze in una evoluzione senza riposo, non velavano ancora di un'ombra di minore universalità le, pur pregevoli e feconde, specializzazioni dei tecnici.

I Loro Nomi già resi illustri per il risultato pratico ottenuto, allorché, per la prima volta, un motore a combustione assunse veste, e funzioni, industriali, possono nuovamente celebrarsi per il contributo di conoscenze che noi possiamo ancora chiedere alle Loro esperienze ed alla interpretazione delle esperienze medesime.

Questo è doveroso di dire, anche se la nostra epoca, epoca di celebrazione di motori veloci e leggeri, non dovesse più vedere, neppure per intento di studio, rinnovarsi la vicenda del rapido innalzarsi e della lenta discesa dello stantuffo libero, che, come si disse, porta seco il segreto delle espansioni più spinte e dei più spinti raffreddamenti ottenibili, prima che i gas, abbandonato il motore, facciano getto, ai fini motori immediati, se non ai fini industriali, del residuo del calore, acquisito con dispendio durante il percorso del ciclo, che essi recano seco.

Padova, 30 Luglio 1929.