

L'ENERGIA TERMICA

RIVISTA TECNICA MENSILE

SOTTO GLI AUSPICI DEL

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

ORGANO UFFICIALE

"DEL COMITÉ INTERNATIONAL PERMANENT DU CARBONE CARBURANT",

PREMIATA DALLA REALE ACCADEMIA D'ITALIA

<p>Condizioni d'Abbonamento per il 1938</p> <p>ITALIA E COLONIE . . . L. 40.- ESTERO . . . L. 55.-</p> <p>Gli abbonamenti sono pagabili presso tutte le Filiali del Regno e Colonie del BANCO DI ROMA</p>	<p>DIRETTORE</p> <p>Dot. Ing. SERAFINO de CAPITANI</p> <p>Direzione e Amministrazione: MILANO PIAZZA CINCINNATO, 6 - TEL. 21-005</p>	<p>PUBBLICITÀ</p> <p>Chiedere tariffe e preventivi)</p> <p>Le inserzioni si ricevono direttamente presso la nostra Amministrazione</p>
--	---	--

SOMMARIO DEL N. 7-8

<i>La morte di S. E. Parravano</i>	171
Articoli originali:	
Dr. Ing. A. C. ROBOTTI - L'iniezione di combustibile nei motori Diesel: II. Il processo di disintegrazione dei getti liquidi	172
Dr. Ing. CHARLES BERTHELOT - Le traitement des schistes bitumineux en France: l'Usine de Saint-Hilaire (Allier)	180
E. L. BASS - Disegno e lubrificazione dei motori per aviazione	184
Aeronautica:	
194. Il più grande pallone sferico del mondo	188
195. Un dispositivo che « sente » gli aerei	188
196. Premi agli acquirenti di aeromobili nazionali da turismo	188
197. Concorsi nell'Amministrazione aeronautica	188
198. Nuovi aeromobili italiani da turismo	188
199. Due nuovi primati internazionali conquistati dall'aviazione tedesca	189
200. Nuovo primato d'altezza con kg. 10.000 di carico	189
201. Nuovo primato di velocità su 5000 km.	189
202. Il nuovo Zeppelin 130	189
203. Una notevole prova di un modello con motore a scoppio	189
204. La doppia traversata dell'Atlantico di un aeroplano germanico	189
Automobilismo:	
205. Le vetture utilitarie e la circolazione automobilistica italiana	190
206. Tassa di circolazione per autoveicoli in A. O. I.	190
207. L'industria automobilistica mondiale si orienta sempre più verso le piccole vetture	190
Combustibili e Carburanti:	
208. La produzione italiana di metano	191
209. Un collegatore-stabilizzatore per carburanti alcoolici	191
210. Carbone e nafta nella marina	191
211. Sulla stabilità dei carburanti alcoolici nei depositi (s. d. c.)	191
212. L'addolcimento delle benzine mediante il cloruro di rame (s. d. c.)	191
213. L'impiego del gas per il riscaldamento urbano centralizzato	191
214. Sui carburanti a base di etere (s. d. c.)	192
215. 700 depositi di carbone speciale per gassogeni in Francia	192
216. Per l'impiego del carbone nella marina mercantile inglese (l. b.)	192



Dr. Ing. A. C. ROBOTTI

L'INEZIONE DI COMBUSTIBILE NEI MOTORI DIESEL

II. - IL PROCESSO DI DISINTEGRAZIONE DEI GETTI LIQUIDI

Quando un liquido esce sotto pressione da un sottile ugello cilindrico, si suddivide in fini particelle, le quali si allontanano gradualmente le une dalle altre, in modo da costituire nel loro insieme un getto in forma di cono.

Il motivo e le modalità della disintegrazione dei getti, la ricerca dei fattori che influenzano il fenomeno e determinano il grado della suddivisione, ossia il diametro delle gocce nascenti, costituiscono altrettanti problemi che dai campi della speculazione della fisica pura si sono trasportati in quelli della tecnica motoristica, dopo l'avvento dei motori ad iniezione.

Così, in vista del suo grande interesse pratico, oltre che scientifico, il fenomeno è stato ed è tuttora oggetto di indagini da parte di un gran numero di studiosi.

Le prime ricerche sulla polverizzazione dei getti liquidi furono intraprese in Germania, dove Kuehn, Tribnig, Sass e Neumann, per citare solo i maggiori, effettuarono le prime esperienze ed emisero le prime teorie. Quasi contemporaneamente il problema fu affrontato da Castleman, Lee, Spencer e Schweitzer negli Stati Uniti e da Bird in Inghilterra.

A voler indicare molto sommariamente gli indirizzi delle due scuole, si potrebbe dire che, mentre la scuola tedesca tendeva ad annettere la massima importanza all'azione del mezzo nel quale si effettua l'iniezione, quella inglese considerava la velocità della vena liquida come il fattore determinante della disintegrazione.

Senonchè, l'ipotesi della imprescindibilità delle forze aerodinamiche nella disgregazione del getto fu presto demolita, quando De Iuhasz, dell'Università di Pennsylvania, dimostrò al Congresso Motoristico di Madison (1931), che getti di olio iniettati in ambiente di aria molto rarefatta si suddividono in modo non molto diverso da quelli iniettati in aria atmosferica o compressa. Se ne dedusse che, se la presenza dell'aria ha influenza sensibile sul fenomeno, essa non è però indispensabile.

Disintegrazione dei getti a basse pressioni d'iniezione.

Orientando le proprie ricerche verso un indirizzo nuovo, Haenlein studiò sperimentalmente la disintegrazione di getti a basse velocità di efflusso, cioè a basse pres-

sioni di iniezione, nei quali la suddivisione avviene in seguito a movimenti oscillatori longitudinali e trasversali della colonna liquida.

Più specificamente, egli trovò che piccole perturbazioni di efflusso generano moti a carattere ondoso, con lunghezza d'onda definita, esplicitansi in un piano longitudinale o trasversale della vena liquida.

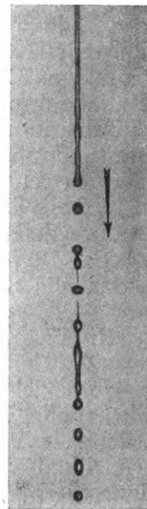


Fig. 1.

Rottura di un getto liquido per effetto delle forze di superficie (3 ingrandimenti - Lee).

La documentazione fotografica presentata da Lee a conferma di queste ipotesi, è delle più convincenti. In fig. 1 il liquido, (olio), iniettato alla pressione di 0,7 kg/cm², ha velocità così bassa che l'aria non può avere su di esso un effetto sensibile: la colonna liquida è suddivisa in gocce soltanto da forze di tensione superficiale. L'inizio delle espansioni e contrazioni della vena è visibile già un poco a monte del punto in cui avviene la rottura. Nei punti di maggior contrazione la colonna si spezza generando frammenti allungati. Questi, essendo liberi nell'aria, sono soggetti unicamente alle forze della tensione superficiale; essi perciò si accorciano e,

attraverso ad una serie di oscillazioni longitudinali smorzate (elongazioni ed accorciamenti) tendono alla forma sferoidica definitiva, per la quale la tensione della pellicola superficiale è minima a parità di volume.

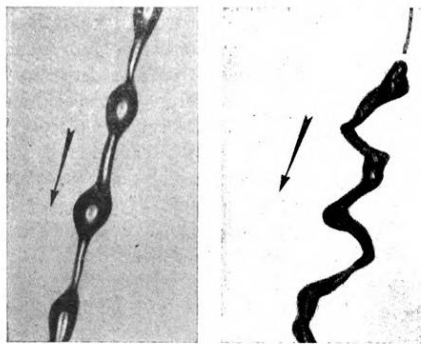


Fig. 2. Rottura di un getto per deformazioni longitudinali e trasversali.

Il getto di fig. 2 (a), iniettato a $3,5 \text{ kg/cm}^2$ e animato dalle stesse deformazioni ritmiche trasversali dal precedente, ha già velocità sufficiente perchè le forze aerodinamiche partecipino alla sua disgregazione, con funzione però unicamente acceleratrice. L'azione dell'aria sulla colonna liquida può essere paragonata a quella del vento sulla superficie ondata di una distesa d'acqua.

Se, come avviene, la velocità relativa del vento è maggiore sulle creste delle onde che nel solco tra un'onda e la successiva, il risultato sarà una diminuzione di pressione sulle creste rispetto alla pressione nel solco; il che esalta il moto ondoso, aumentando l'ampiezza dell'onda, e, nel caso del getto, accelerandone la disintegrazione.

Il getto di fig. 2 (b) fu iniettato a 7 kg/cm^2 di pressione; causa la velocità di efflusso già abbastanza alta,

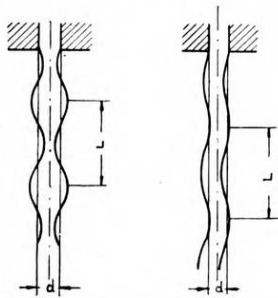


Fig. 3. Oscillazioni trasversali e longitudinali.

alle oscillazioni nel piano trasversale, ancora visibili, si sovrappone un moto oscillatorio longitudinale di notevole ampiezza, che permette alle forze aerodinamiche maggiormente la loro azione.

Il problema della disgregazione dei getti provocata da perturbazioni ondose, studiato sperimentalmente da Haenlein fu risolto analiticamente da Weber.

Secondo questi, se la lunghezza d'onda L (fig. 3) prodotta dalla perturbazione iniziale è minore di un certo valore L_{min} , allora le forze di superficie tendono a smorzare il fenomeno. Viceversa quando L è maggiore di L_{min} , la tensione superficiale tende ad incrementare la perturbazione ondosa, la quale si risolve nella rottura del getto.

Esiste tuttavia una particolare lunghezza d'onda L_{opt} la quale è particolarmente favorevole alla formazione della goccia. Precisamente, per i liquidi non viscosi si ha: $L_{\text{min}} = \pi d$; $L_{\text{opt}} = \pi \sqrt{2} d$, dove d è il diametro della vena liquida.

Per i liquidi viscosi:

$$L_{\text{min}} = \pi d; L_{\text{opt}} = \pi \sqrt{2} d \left[1 + (2 \mu^3 \sigma \epsilon d)^{1/2} \right]^{1/2}$$

dove μ rappresenta la viscosità assoluta del liquido, ϵ la sua densità e σ la sua tensione superficiale.

Come si vede la lunghezza d'onda minima è la stessa in entrambi i casi, ma la lunghezza d'onda ottima è maggiore per i liquidi viscosi. (Per es. per la glicerina $L_{\text{opt}} = 6 d$; per olio di castoreo $L_{\text{opt}} = 22 d$).

Il tempo di disintegrazione, ossia il tempo di percorrenza della colonna liquida prima della sua rottura provocata da moti ondosi trasversali (senza l'influenza dell'aria) è calcolato da Weber mediante la

$$r = k \left[(8 \epsilon / \sigma)^{1/2} d^{1,5} + (6 \mu / \sigma) d \right]$$

Nel caso di liquidi non viscosi μ è trascurabile, quindi sarà trascurabile pure il termine $(6 \mu / \sigma) d$; per cui il tempo di disintegrazione varia praticamente secondo la potenza 1,5 di d .

Nel caso invece di liquidi viscosi è preponderante il termine $(6 \mu / \sigma) d$ e quindi il tempo di rottura è proporzionale al diametro del getto. I risultati sperimentali di Haenlein confermano queste conclusioni. In seguito Weber esaminò anche l'effetto dell'attrito dell'aria sulla disgregazione del getto e trovò che l'effetto dell'aria è di rendere più brevi entrambe le lunghezze d'onda minima e ottima.

Infatti, mentre con velocità dell'aria nulla, per liquidi non viscosi è

$$L_{\text{min}} = 3,14 d; \quad L_{\text{opt}} = 4,44 d$$

con velocità relativa dell'aria di 15 m/sec è

$$L_{\text{min}} = 2,2 d; \quad L_{\text{opt}} = 2,8 d$$

Il risultato è una distanza di rottura più breve.

Nonostante il loro interesse e la attendibilità dei loro risultati, questi studi si riferiscono tuttavia a tipi di iniezioni diverse da quelle che si incontrano nella pratica

motoristica, dove i getti sono sottoposti ad un alto grado di suddivisione. Infatti la disintegrazione della colonna liquida provocata dalle oscillazioni simmetriche, dà luogo ad un numero relativamente piccolo di grosse gocce. Viceversa i getti impiegati nei motori Diesel constano di milioni di minute particelle e presentano una spiccata divergenza nel senso del moto.

E' quindi necessario dirigere l'attenzione su questi tipi di getti di grande importanza pratica.

Polverizzazione dei getti ad alta pressione di iniezione.

Fra le teorie che tentano di spiegare il meccanismo della polverizzazione dei getti ad alta pressione, assai suggestiva è quella emessa dal Castleman, la quale si può così elementarmente riassumere: quando una vena liquida avanza nell'aria, le eventuali increspature formantisi sulla sua pellicola superficiale offrono facile presa al vento relativo il quale ne trae filamenti che si allungano e si assottigliano fino a spezzarsi e a originare goccioline coi loro frammenti.

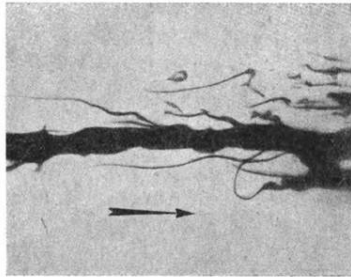


Fig. 4.
Formazione di filamenti liquidi per effetto dell'attrito dell'aria.

La formazione dei filamenti è dimostrata con ottima evidenza dalla microfotografia presentata in fig. 4. Praticamente tutte le microfotografie di getti liquidi rilevano la presenza di filamenti, tranne quelle di getti a bassissima od altissima pressione.

Nel primo caso infatti la velocità relativa dell'aria non è sufficiente per la formazione dei filamenti: nel secondo caso, questi sono così sottili, causa la grande velocità, da essere occultati dalle fini particelle d'olio costituenti la « nebbia » di involuppo del getto.

Tuttavia la teoria di Castleman, per quanto confermata dalla esperienza, non spiega ancora come i getti iniettati ad alta pressione possano polverizzarsi anche nel vuoto, in condizione cioè da non produrre i filamenti suddetti.

L'ipotesi di una eventuale elettrizzazione delle gocce d'olio, sufficiente ad allontanarle l'una dall'altra appena uscite dall'ugello, per repulsione elettrostatica, si

mostrò ben presto anch'essa infondata, dopochè misure effettuate con metodi elettroscopici provarono che la carica elettrica delle particelle costituenti il getto è nulla.

Finalmente una luce nuova sul fenomeno fu appurata dalla teoria di Reynolds sui regimi turbolenti.

Come è noto, quando un liquido fluisce lentamente attraverso un tubo rettilineo, a pareti lisce, e di diametro piccolo rispetto alla sua lunghezza, tutte le sue particelle traslano parallelamente all'asse del tubo ed il moto che ne deriva si può definire « flusso laminare ».

Ma allorchè la lunghezza del canale è piccola rispetto al diametro, ed in particolare, quando la velocità d'efflusso è grande e la viscosità delle sue particelle presenta anche componenti normali all'asse del moto principale, si ha allora il così detto « flusso turbolento ».

Oltre che da fattori geometrici intrinseci al disegno del tubo, e da fattori fisici dipendenti dalla qualità del liquido, la natura del flusso è fortemente influenzata da un terzo parametro che sinteticamente esprime l'influsso dei due primi. Tale parametro è costituito dal

numero di Reynolds $R = \frac{vd}{\nu}$ dove ν rappresenta la viscosità cinematica del liquido. Esiste un valore « critico » del numero di Reynolds, al disotto del quale in un lungo tubo cilindrico rettilineo le perturbazioni nel flusso vengono smorzate.

Così, nel caso di tubi « sufficientemente lunghi », quando la velocità di efflusso scende al di sotto del valore critico un eventuale flusso turbolento può trasformarsi bruscamente in flusso laminare. Al di sopra del numero critico invece, le perturbazioni non vengono mai smorzate; in tale caso quindi, indipendentemente dalla lunghezza del tubo, un flusso originariamente turbolento rimane tale, in ogni caso. Il numero critico così definito, secondo le esperienze dello Schiller vale all'incirca 2300.

E' merito di Heldt di avere per primo applicato queste conoscenze allo studio dei getti di combustibile e di avere indicato l'indirizzo da seguire nelle nuove ricerche e nella composizione armonica delle vecchie teorie.

Gli ugelli iniettori di solito sono costituiti da brevi canali di efflusso la cui lunghezza non è neppur lontanamente sufficiente perchè il moto in essi assuma caratteri di stabilità.

Il flusso reale nell'ugello è influenzato notevolmente dalla natura del moto prima dell'ugello e dalle perturbazioni all'ingresso e all'interno di esso.

La combinazione di questi fattori in aggiunta all'influenza del numero di Reynolds determina l'entità della turbolenza all'uscita dall'ugello. Infatti, sebbene si siano finora considerati soltanto gli stati limiti di flusso laminare e flusso turbolento, esiste una gamma di regimi intermedi, che possiamo genericamente definire « semi turbolenti ». Questi sono caratteristici dei tubi brevi

e sono distinti dal flusso laminare della parte periferica della vena, e dal flusso turbolento della sua regione centrale (fig. 5).

Al diminuire del numero di Reynolds lo spessore dello strato a moto laminare aumenta gradatamente, mentre la porzione turbolenta interna diminuisce fino a sparire.

E' peculiarità dei tubi brevi la gradualità di trasformazione da regime turbolento a laminare e viceversa.

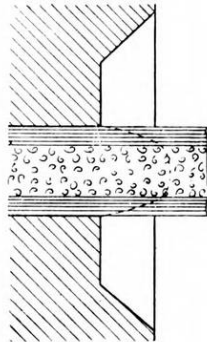


Fig. 5.
Efflusso semiturbolento.

Effetto della turbolenza sulla polverizzazione.

Se il moto dell'olio nell'interno dell'ugello è laminare, una rottura della colonna liquida immediatamente a valle della luce di efflusso non può avvenire. Infatti le particelle liquide del canale fluiscono in correnti parallele, e lo strato aderente alle pareti del condotto ha velo-

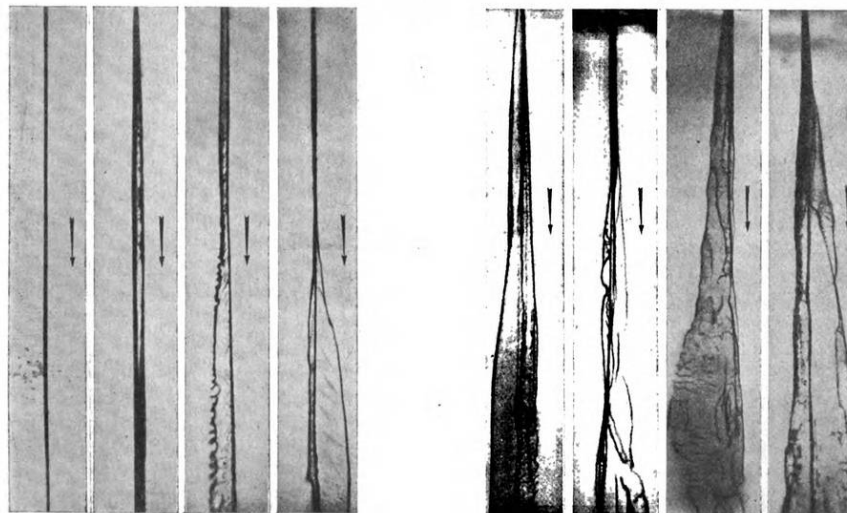
cià nulla, la quale aumenta con legge parabolica avvicinandosi all'asse del tubo. Dato che la parete di questo non esercita una influenza diretta sulla superficie o sull'interno della vena liquida, la distribuzione della velocità immediatamente a valle della luce di efflusso sarà ancora presumibilmente eguale a quella nell'interno dell'ugello. Perciò nei pressi della luce di efflusso non esiste una differenza notevole di velocità tra la pellicola di involuppo del liquido, virtualmente stazionaria, e l'aria circostante: le azioni aerodinamiche sono quindi insufficienti a dirompere il getto.

Questo non vuole ancora dire che una vena liquida ad efflusso laminare presenti una distanza di rottura infinita, se per «distanza di rottura» si intende lo spazio percorso dalla vena liquida dall'ugello al punto in cui essa si suddivide.

Dopo una certa distanza infatti l'effetto della tensione superficiale esalta le irregolarità di superficie sufficienti a condurre alla rottura del getto. Viceversa, se il flusso nel canale dell'ugello anziché laminare è turbolento in tutto il campo della sua sezione, la parete del canale è bombardata da particelle di liquido aventi componenti radiali di velocità. A valle della luce di efflusso tali particelle sono trattenute nell'interno della colonna soltanto dalla pellicola superficiale, la quale presto si rompe sotto il loro impulso, provocando così il dirompimento generale del getto.

La fig. 6 presenta una serie di microfotografie di getti a numeri di Reynolds crescenti ed iniettati nel vuoto. Il numero di Reynolds veniva aumentato, aumentando la pressione di iniezione e quindi la velocità di efflusso.

Fig. 6.



R = 1500 R = 2400 R = 2600 H = 3000 R = 3500 R = 5000 R = 7000 R = 9000
Getti a numeri di Reynolds crescenti, iniettati nel vuoto, da un ugello di $\varnothing = ,05$ mm. (2,5 ingrand. - Lec).

La natura del flusso appare essere controllata dal numero di Reynolds, essendo il moto laminare al disotto del numero critico, e turbolento al disopra di esso. Con l'apparire del regime turbolento ha luogo la disgregazione del getto, la quale aumenta di intensità al crescere del numero di Reynolds, e quindi della turbolenza.

Nel caso di efflusso semi turbolento (fig. 5) la presenza di uno strato periferico a carattere laminare, limitante il campo centrale della turbolenza, può ritardare questa rottura soltanto per un breve tratto. Infatti nei pressi dell'ugello la vena si mantiene ancora intatta grazie allo strato superficiale laminare il quale è sufficiente a impedire la diffusione delle particelle turbolente, ed è inoltre insensibile alle azioni aerodinamiche, dato che non esiste notevole differenza di velocità tra l'aria e la superficie

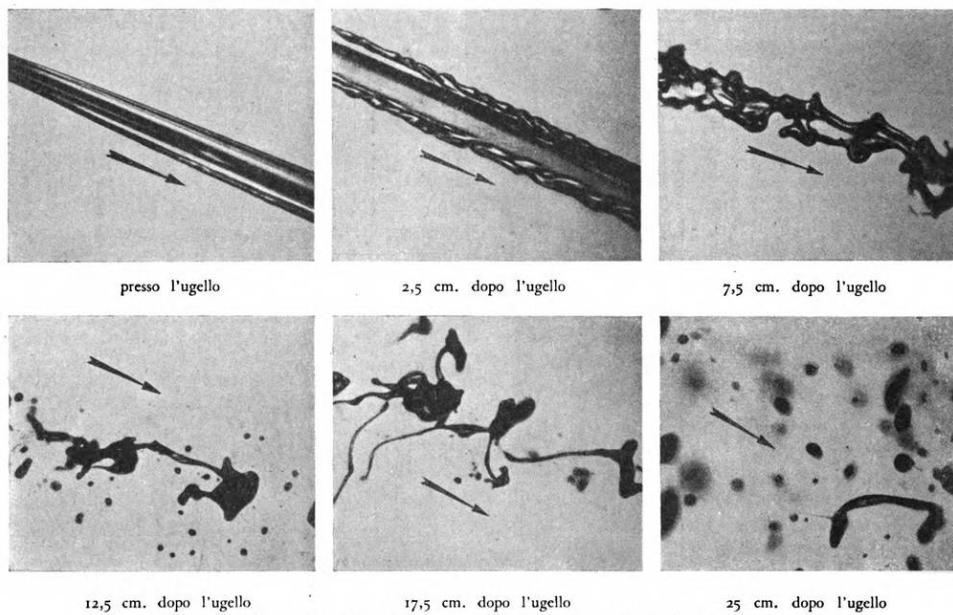
liquida quelle particelle che rapidamente si trasformano in globuli.

Nel caso di efflusso turbolento, il bombardamento delle particelle sulla superficie della vena contribuisce energeticamente a creare e moltiplicare le increspature pellicolari, che si spongono all'attacco dell'aria. In tale caso quindi turbolenza ed azione aerodinamica contribuiscono entrambe ad accelerare ed intensificare la polverizzazione del getto.

Il progressivo effetto delle forze agenti sulla colonna liquida può essere dimostrato con buona evidenza mediante fotografie del getto a varie distanze dell'ugello.

Le microfotografie di fig. 7 illustrano le varie fasi della disintegrazione di un getto semi turbolento, dalla formazione delle increspature pellicolari per effetto della

Fig. 7.



Fasi successive della disintegrazione di un getto (10 ingrand. - Lec).

della colonna liquida, se si ammette la distribuzione di velocità segnata in figura.

Tuttavia il nucleo centrale, più veloce, tosto sopravvanzerà l'inciluppo laminare, ed allora, libero da tale vincolo, le sue particelle turbolente si diffonderanno liberamente.

Da quanto precede, risulta chiaramente come non siano necessarie azioni aerodinamiche per la disintegrazione di un getto ad efflusso turbolento o semi turbolento.

Naturalmente però in ogni caso, un energico attrito dell'aria serve ad accelerare la disgregazione. Si è già visto come eventuali piccole irregolarità di superficie, sempre presenti anche nel caso di efflussi laminari, dia-no occasione al vento relativo di strappare dalla massa

turbolenza, alla loro esaltazione per effetto del vento relativo, fino alla formazione dei filamenti e alla loro rottura e trasformazione in goccioline. Paragonando la disintegrazione del getto iniettato nel vuoto (fig. 6) con quella del getto iniettato nell'aria, si vede come quest'ultima sia più completa.

L'azione acceleratrice delle forze aerodinamiche cresce al crescere della velocità relativa dell'aria e della sua densità. Al crescere di questa infatti, a parità di distanza dall'ugello, aumenta la dispersione del getto (se per dispersione intendiamo il rapporto

$$\frac{\text{volume del cono del getto}}{\text{volume del liquido iniettato}},$$

e diminuisce il diametro delle singole goccioline.

Le microfotografie di fig. 8 dimostrano chiaramente

che la disintegrazione non soltanto è accelerata al crescere della densità dell'aria, ma anche che essa viene resa più intensa. La polverizzazione, ossia la suddivisione del getto in milioni di minute goccioline, non potrebbe essere ottenuta senza l'effetto dell'aria: infatti nel caso di getti iniettati nel vuoto si ha disintegrazione ma non polverizzazione (*).

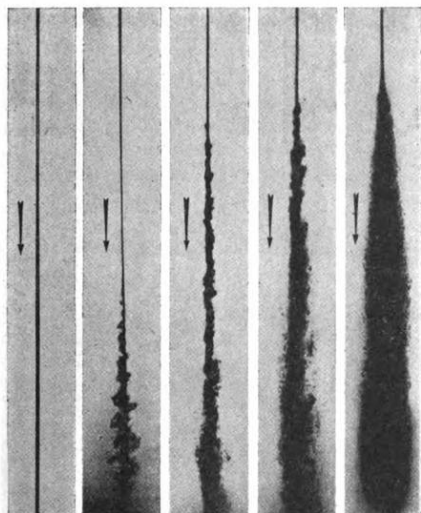


Fig. 8.
Effetto della densità dell'aria su getti liquidi iniettati alla pressione effettiva di 18 kg/cm.² da un ugello di $\varphi = 0,05$ mm. (2,5 ingrandimenti - Lec).

Oltre che provocare la formazione dei filamenti e la loro susseguente rottura, la resistenza dell'aria può favorire una ulteriore suddivisione delle stesse particelle liquide così prodotte, secondo un processo che esporremo schematicamente nella sua forma ideale. Nel caso di una goccia sferica di raggio r (fig. 9 a) la tensione superficiale σ (kg/m) provoca una pressione P_σ diretta verso il centro, valutabile mediante la:

$$P_\sigma = \frac{2\sigma}{r} \text{ kg/m}^2$$

Ad essa si aggiunge la pressione esterna P_e esercitata sulla goccia dall'ambiente esterno.

Se la goccia è in moto, la pressione esterna P_e non sarà uniforme su tutta la sua superficie; infatti la resistenza dell'aria crea una sovrappressione Δp provocante

(*) È appena necessario sottolineare la differenza tra disintegrazione e polverizzazione. Col primo termine si vuole infatti indicare la prima fase del fenomeno, caratterizzata dalla produzione di un numero relativamente piccolo di frammenti del getto, i quali attraverso una ulteriore suddivisione danno luogo alla polverizzazione, seconda fase del processo.

una deformazione della goccia (fig. 9b) e calcolabile in ciascun punto mediante la:

$$\Delta P = \frac{v^2 \rho}{8g} \left(9 \frac{z^2}{p^2} - 5 \right) \text{ (Lorenz)}$$

dove v = velocità della goccia
 ρ = densità del mezzo
 g = accelerazione di gravità
 r = raggio di goccia
 z = proiezione, sulla direzione della velocità, della distanza del punto dal centro della goccia.

In seguito allo schiacciamento della goccia la pressione P_σ dovuta alla tensione superficiale diventa:

$$P_\sigma = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \text{ kg/m}^2$$

L'esperienza conferma che, quando la pressione esterna P_e , non uniforme, è maggiore di P_σ la goccia si rompe (fig. 9c). Si può quindi supporre che la goccia continui a suddividersi fino a che P_σ e P_e diventano dello stesso ordine di grandezza; ciò che avviene con grande rapidità poichè la sovrappressione esterna diminuisce

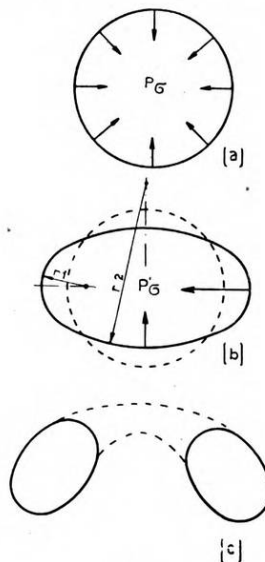


Fig. 9.
Rottura di una goccia per effetto della resistenza dell'aria.

con legge quadratica al diminuire della velocità, mentre P_σ aumenta col crescere della curvatura della superficie delle gocce, cioè al crescere della loro suddivisione.

Tuttavia la esplicazione delle azioni aerodinamiche tanto nel processo di formazione dei filamenti quanto in quello di ulteriore suddivisione delle particelle da essi prodotte, è favorita dalla turbolenza, la quale esalta la fase che si può definire preparatoria del processo di di-

sintegrazione. Essendo d'altra parte la viscosità del liquido uno dei principali fattori influenzanti la turbolenza, se ne deduce che la viscosità stessa ha influenza decisiva sulla disintegrazione del getto; precisamente, il grado di suddivisione diminuisce al crescere della viscosità, la quale ostacola il prodursi del regime turbolento.

Questo, oltre che dalla natura del liquido, può essere favorito dalle caratteristiche dell'ugello. A prescindere dagli importanti effetti del valore del rapporto lunghezza-diametro, e dal grado di smussamento degli spigoli di ingresso e di uscita del canale di efflusso, la natura delle pareti di questo è sufficiente a controllare il grado di turbolenza: pareti lisce favoriscono infatti efflussi laminari, mentre pareti scabrose, a parità di altre condizioni, eccitano la turbolenza di efflusso, come si può vedere dalle microfotografie di fig. 10.

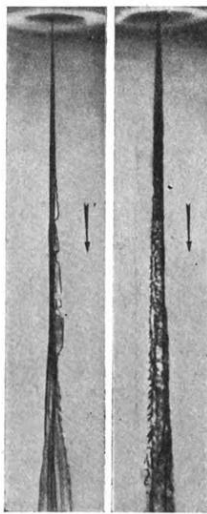
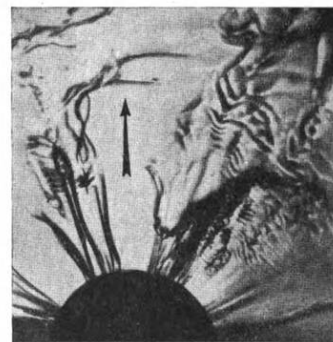


Fig. 10.
Getti di ugelli di uguali dimensioni, iniettati nel vuoto alla pressione di 210 kg/cm.² (2,5 ingrandimenti - Lec).

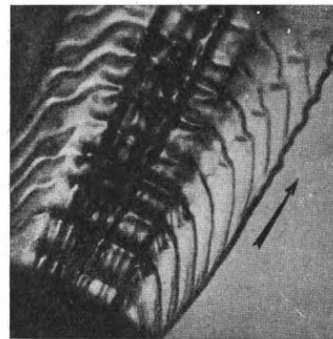
Essendo l'effetto concomitante della turbolenza di efflusso e delle forze aerodinamiche quello che produce la polverizzazione del getto, ugelli ad alta dispersione dovranno essere concepiti in modo da favorire l'esplicazione di quelle azioni; dovranno cioè produrre getti turbolenti con la massima superficie esposta all'aria: in tale modo la suddivisione risulterà oltre che rapida, anche molto spinta. Le microfotografie di fig. 11 presentano l'aspetto caratteristico del getto all'uscita da ugelli di tale tipo.

Per maggior chiarezza, le velocità di iniezione furono tenute sotto i 40/sec ed i getti iniettati nell'atmosfera.

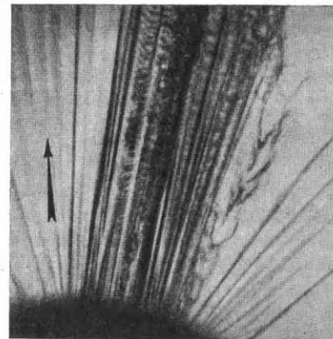
La fig. 11 a) mostra un getto in forma di lamina liquida iniettata da un ugello con luce di efflusso a fessura semicircolare. Le onde irregolari sulla superficie della lamina sono il risultato dell'attrito dell'aria. La



(a)



(b)



(c)

Fig. 11 (a) - (b) - (c)
Tipi diversi di efflusso in getti iniettati da ugelli a fessura. (10 ingrandimenti - Lec).

fig. 11 b) presenta un getto analogo, uscente da un ugello con luce di efflusso a fessura piana. La regolarità delle onde che increspano la superficie della lamina liquida, e la loro estensione suggeriscono che tale pertur-

bazione è prodotta dalla vibrazione dell'ugello, o da piccole irregolarità di superficie della fessura, sufficienti ad eccitare il moto turbolento.

La fig. 11 d) presenta invece un getto a ventaglio nel quale differenti condizioni esistenti in punti diversi della luce di efflusso hanno provocato la coesistenza di tipi diversi di flusso nella lamina liquida, la quale risulta così formata da particelle fluenti con moto laminare e da altre fluenti con moti turbolenti di diversa natura.

* * *

Le conclusioni che le indagini sperimentali riassunte in queste note permettono di trarre, stabiliscono alcune leggi di dipendenza tra il grado di suddivisione dei getti ed i fattori su cui la tecnica motoristica può giocare per controllare il fenomeno.

Precisamente risulta che il grado di suddivisione:

a) Aumenta al crescere della distanza dall'ugello fino a che le forze disintegranti dovute alla velocità relativa dell'aria superano in intensità le forze dovute alla viscosità e alla tensione superficiale, le quali si oppongono alla rottura delle particelle liquide.

b) Aumenta al crescere della velocità dell'aria.

c) Aumenta con la velocità del getto.

d) Aumenta al diminuire del diametro dell'ugello.

e) Aumenta al diminuire della viscosità del liquido.

f) Aumenta al diminuire della tensione superficiale del liquido.

g) Aumenta al crescere della turbolenza del liquido.

BIBLIOGRAFIA

- R. A. CASTLEMANN, JR. - The mechanism of the atomization of liquids - *Nat. Bur. Stand. J. Research*, 7, 269-376 (1931).
- H. TRIEBNIGG - The pneumatic and hydraulic injection in Diesel engines (J. Springer, Berlin, 1925).
- O. KLUESNER - Zum Einspritzvergang in der kompressorlosen Dieselmaschinen. *V. D. I. Zeits.*, 17, 171 (1933).
- H. KUEHN - Atomization of liquid fuels - *Der Motorwagen*, Berlin, July, 10, 20; Oct. 10, 20; Nov. 30; Dec. 30, 1924; Jan. 20; Feb. 10, 1925.
- F. N. SCHEUBEL - Atomization in carburetors - *Jahrbuch der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt*, 1927.
- A. HAENLEIN - Ueber den Zerfall eines flüssigkeitstrahles - *Forschung*, 2, 139-149 (1931).
- DANA W. LEE and R. C. SPENCER - Photomicrographic Studies of Fuel Sprays - *N.A.C.A. Report N. 454* - 1933.
- C. WEBER - Zum Zerfall eines Flüssigkeitstrahles - *Zeits. f. angewandte math. und mech.*, 11 (1931).
- KALMAN J. DE JUHASZ, O. F. ZAHN and P. H. SCHWEITZER - *The Pennsylvania State College, Engineering Experiment Station Bulletin*, N. 40 (1932).
- OTTO HOLFELDER - Zur Strahlzerstreuung bei Dieselmotoren - *Forschung*, 3, 229-240 (1932).
- A. L. BIRD - Experiments on Oil Jets and their Ignition - *Proc. I.M.E.*, 2 (1926).
- A. L. BIRD - Some Characteristics of Nozzles and Sprays for oil Engines - *Transactions of second World Power Conference* - Berlin, 1930, Publ. V.D.I. Verlag.
- A. E. THIEMANN - Fahrzeug Diesel motoren - *Automotive Diesel Engines*, 1929.
- J. L. GOLDFHWAITTE - High speed oil engine pumps and injection valves - Proceedings of the third oil power conference 1929 - *The Pennsylvania State College Bulletin* - Tech. Bull. 8.
- P. M. HELDT - High speed Diesel engines (1932).
- L. SCHILLER - Untersuchungen ueber laminare und turbulente strömung - *V. D. I. Forschungsarbeiten* - Vol. 248.
- P. H. SCHWEITZER - Mechanism of disintegration of liquid jets - *Journal of applied physics* - Vol. 8, N. 8, — Penetration of oil sprays - *Pennsylvania State College - Bulletin* N. 46.

INDUSTRIALI!

"L'Energia Termica,, va in tutti i Ministeri civili e militari, in tutti gli uffici tecnici e commerciali, in tutti gli stabilimenti.

La pubblicità su detta Rivista, che è largamente diffusa anche all'estero, è la più efficace.

Rivolgersi all'Amministrazione: PIAZZA CINCINNATO, 6 - MILANO