

Fig. 14. - Aspetto del complesso dei portici delle gallerie durante la fase di messa in opera.

sostanzialmente in tre tipi, rispettivamente di 54-14 e 15 unità (Fig. 13). Per l'appoggio di tutti i tipi di portici — che erano stati studiati come incernierati al piede — furono previsti plinti di fondazione a colpetto (Fig. 12) che si rivelarono praticissimi agli effetti della rapidità di messa in opera.

Per tutti i portici fu adottato uno spessore costante di 16 cm. che permise di gettarli in cataste di 9-10 unità, e le modalità di esecuzione furono quelle già precedentemente descritte, con sensibili riduzioni dei tempi di getto grazie alla standardizzazione del lavoro. Oltre ai portici si eseguirono 208 travi secondarie di vario tipo destinate all'irrigidimento longitudinale delle gallerie e all'appoggio delle coperture.

Il sollevamento dei portici fu effettuato con ra-

pidità e senza inconvenienti irrigidendo i piedritti — per la durata della manovra — con profilati metallici, il che permise spostamenti e trascinalti piuttosto audaci sul terreno dovuti all'imprevista presenza di una linea elettrica ad alta tensione. La messa in opera fu del pari rapida, giungendosi negli ultimi giorni ad una media giornaliera di 9-10 portici di 1,25 m<sup>3</sup> cadauno (compresa messa a piombo, controventamento, incuneamento nelle basi, etc.) (Figg. 10 e 14)..

L'aspetto del complesso industriale ultimato risultò assai soddisfacente, e tirate le somme, chi scrive può dichiarare che solamente grazie alla prefabbricazione fu possibile una esecuzione rapida ed economica senza pregiudizio del fattore estetico.

**Giulio Pizzetti**

## Problemi di ventilazione delle gallerie autostradali (\*)

*Si illustrano i sistemi di ventilazione naturale e artificiale delle gallerie autostradali e si espongono i metodi di calcolo dei condotti di distribuzione.*

Recenti progetti di trafori alpini per autoveicoli hanno richiamato l'attenzione dei tecnici sulle esigenze della loro ventilazione.

Il problema non è nuovo ed ha ricevuto brillanti soluzioni in vari impianti americani ed europei, specialmente nell'attraversamento mediante tunnel sotterranei di ampi estuari di fiumi come l'Hudson a New York, la Mersey a Liverpool, la Mosa a Rotterdam, l'Escaut ad Anversa, oltre che in alcuni trafori montani, specialmente in California.

1. - La necessità del ricambio dell'aria deriva anzitutto dalla produzione di ossido di carbonio dei motori a benzina, per lo più alimentati con miscele ricche e quindi con difetto d'aria.

La fig. 1 mostra i risultati di alcune esperienze svizzere, che hanno del resto confermato in linea generale precedenti esperienze americane. In essa le ascisse  $\lambda$  rappresentano il rapporto fra la quantità d'aria effettivamente introdotta nel motore e quella strettamente necessaria alla combustione. Le ordinate rappresentano per la curva inferiore le percentuali di ossido di carbonio rilevate nei gas di scarico, per la curva superiore la potenza  $N$  in kW sviluppata dal motore.

L'irregolarità dei punti sperimentali, indicati nel primo caso, mette in evidenza che il fenomeno

(\*) Conferenza tenuta il 19 novembre 1952 presso la Soc. Ingegneri e Architetti in Torino e la Sezione Piemontese dell'Ass. Termotecnica Italiana.

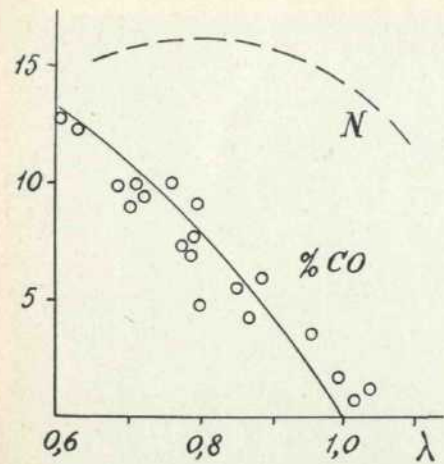


Fig. 1

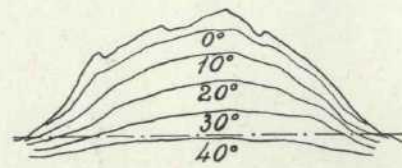


Fig. 2

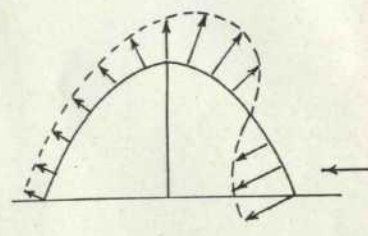


Fig. 3

dipende anche da circostanze accidentali non sempre prevedibili, fra le quali va annoverata anzitutto la messa a punto del carburatore.

La seconda curva mostra che le condizioni ottime di prestazione si verificano appunto nel funzionamento con eccesso di combustibile.

La produzione di ossido di carbonio accertata dalle prove ricordate è stata espressa in  $\text{cm}^3$  e riferita ad ogni metro di strada percorsa dal veicolo.

Con velocità fra i 15 ed i 25 km/ora tale produzione varia in media per le automobili a benzina fra 50 e 150  $\text{cm}^3/\text{m}$ , corrispondendo i valori estre-

Fig. 4

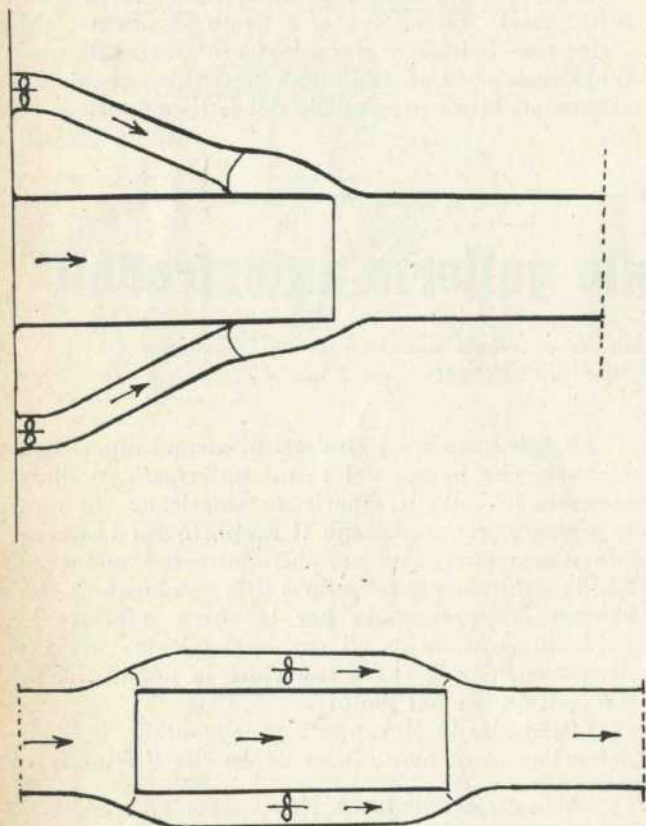


Fig. 5

mi a strada con pendenza del 3,5 % percorse rispettivamente in discesa e in salita.

Tali valori divengono pressochè doppi per gli autocarri portanti carichi da 2 a 5 tonnellate.

I motori ad iniezione di combustibile, del tipo Diesel e derivati, non danno luogo, se ben regolati, a produzione di CO, ma i loro scarichi contengono spesso del fumo nero, indice di combustione imperfetta, fumo che riduce la visibilità già scarsa nelle gallerie, pur se illuminate artificialmente.

Per questo motivo, agli effetti della ventilazione, anche i veicoli a motore Diesel sono contati dai tecnici americani ed europei insieme con quelli muniti di motore a carburazione.

D'altra parte è noto che la temperatura va crescendo con la profondità con un aumento medio di 1 grado Celsius ogni 40-50 metri all'incirca. Questo accrescimento è appunto chiamato « grado geotermico ».

Nei lunghi trafori sotto alte montagne si verificano dunque (v. fig. 2) nelle zone centrali delle sopraelevazioni di temperatura (intorno ai 40°C per altezze di 2000 m), talvolta rese più gravi da infiltrazioni di acque calde, che richiedono di essere ridotte con una sufficiente ventilazione.

Il pericolo costituito dalla produzione di ossido di carbonio rende necessaria la ventilazione artificiale quando la lunghezza della galleria supera certi limiti, dipendenti anzitutto dalla frequenza dei veicoli, e che sono d'ordinario intorno al chilometro, come è avvenuto per alcuni trafori montani lungo una nota strada californiana di grande comunicazione.

Sotto questo riguardo la galleria per autoveicoli sotto il colle di Tenda, lunga circa 3 chilometri e priva di tale ventilazione, è da ritenere posta in una situazione eccezionalmente favorevole.

I venti regolari che soffiano fra il Mediterraneo e la pianura padana vi attivano infatti un regolare rinnovamento dell'aria che si è finora dimostrato sufficiente nei riguardi dello scarso numero di veicoli colà in transito.

Al di sotto di qualche chilometro possono bastare a provocare un sufficiente ricambio di aria,

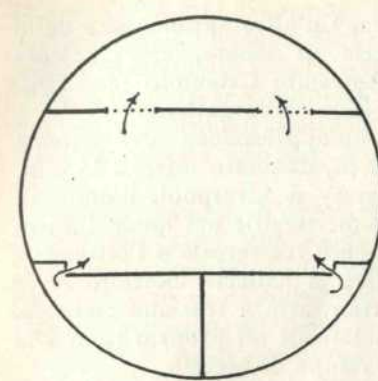


Fig. 6

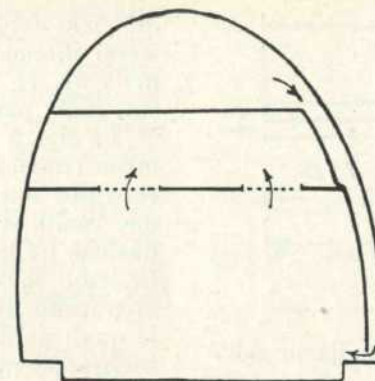


Fig. 7

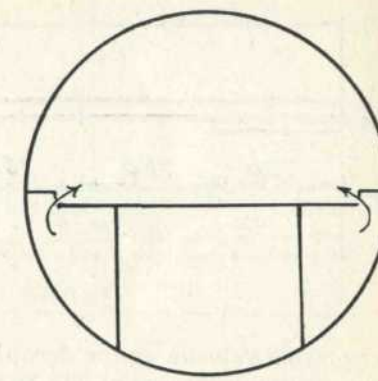


Fig. 8

soprattutto con l'ausilio di opportune canne verticali od oblique sboccanti all'atmosfera, le differenze di temperatura fra interno ed esterno e, come mostra la fig. 3, l'azione stessa dei venti, che investendo lateralmente una catena di monti producono delle differenze di pressione crescenti col quadrato della loro velocità.

2. - I tecnici americani che hanno progettato l'impianto di ventilazione dell'Holland tunnel a New York hanno fissato come concentrazione massima di CO il 0,4 per mille in volume (1).

Lo stesso valore fu fissato per il tunnel sotto l'Escaut ad Anversa. Veramente l'esperienza ha mostrato che dal solo punto di vista igienico tale concentrazione era per sé ben sopportabile, ma si è notato che al disopra del 0,25 per mille di CO i motori a benzina cominciano a produrre del fumo nero che peggiora la visibilità e va crescendo colla percentuale anzidetta.

Il calcolo del volume d'aria  $V$  da rinnovare nell'unità di tempo può essere condotto nel seguente modo:

Detti:  $\phi$  la concentrazione massima tollerabile di CO nell'aria atmosferica,  $q$  la quantità media di questo gas prodotta da ciascun veicolo per ogni unità di lunghezza percorsa,  $n$  il numero di veicoli transitanti nell'unità di tempo,  $L$  la lunghezza della galleria, fra queste grandezze si può subito scrivere la relazione:

$$V = q n l / \phi \quad (1)$$

Se i veicoli transitano in media alla velocità  $u$ , con un intervallo di  $\tau$  unità di tempo e  $d$  unità di lunghezza fra loro si ha pure:

$$d = u \tau = u/n \quad (2)$$

Ad esempio posto  $\phi=0,0005$  e  $q=100 \cdot 10^{-6} \text{m}^3/\text{m}$ . veicolo, se in una galleria, lunga 6 km si prevede il transito, alla velocità di 20 km/h, di 100 autoveicoli all'ora (succedentesi quindi ogni 36 secondi alla distanza di 200 metri l'uno dall'altro), dalla (1) si ottiene:

$$V = \frac{100 \cdot 10^{-6} \cdot 6000 \cdot 100}{0,0005 \cdot 3600} = 33 \text{ m}^3/\text{sec}$$

(1) Cfr. O. Singstad, World Power Conf., Tokyo, 1929, pag. 381; C. Andrae, Zur frage der Lüftung langer Autotunnel, Rev. Pol. Suisse, Apr. 1938.

Nel caso di transito di lunghe colonne di grossi veicoli militari, le condizioni potrebbero risultare ancora più gravose.

3. - I sistemi di ventilazione artificiale, dal senso prevalente della corrente d'aria rinnovatrice, si distinguono in « longitudinali » e « trasversali » secondo che l'aria della ventilazione è introdotta da una estremità nella galleria e la percorre nel senso della lunghezza venendo estratta all'altra estremità, oppure vi è introdotta e rispettivamente estratta da serie di luci disposte sulle pareti della galleria stessa, e praticate ai lati di condotti appositi di distribuzione.

Oltre a queste sono naturalmente possibili anche delle soluzioni intermedie.

Esempio tipico di ventilazione longitudinale è quello del Saccardo (v. fig. 4), già impiegato in alcune applicazioni ferroviarie (poi agevolate dalla trazione elettrica) e che ricorre ad una apertura anulare praticata attorno ad una sezione della galleria e attraverso la quale l'aria pura viene immessa

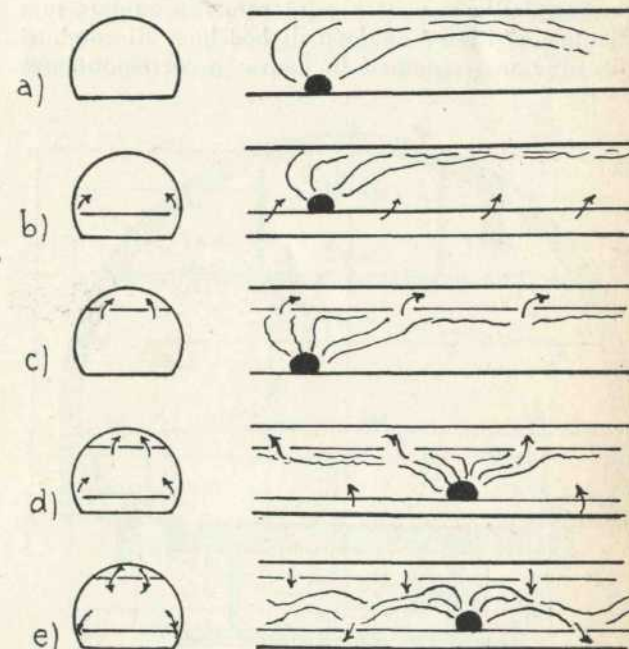


Fig. 9

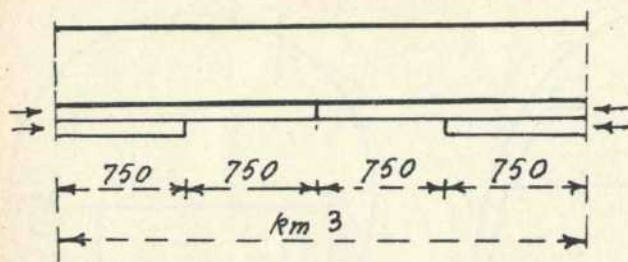


Fig. 10

a notevole velocità (circa decupla di quella in galleria e quindi intorno ai 20÷30 m/sec).

L'aria introdotta trascina longitudinalmente quella viziata in modo analogo a quanto avviene per gli eiettori. Gli ingressi della galleria possono in tal modo rimanere aperti in permanenza.

Il dispositivo schematizzato nella fig. 5 è stato immaginato per accelerare il movimento dell'aria in zone profonde della galleria. Questo movimento può però essere ostacolato da correnti naturali e dalla stessa circolazione dei veicoli e in ogni modo dà luogo a concentrazioni disuniformi di CO, che possono risultare eccessive alle estremità di uscita, ove tutta la produzione si somma.

Nei tunnel stradali, sia fluviali che montani, si è generalizzato l'impiego di sistemi trasversali, nei quali il rinnovo può essere effettuato « localmente » in modo completo con bocche di introduzione dell'aria pura e di estrazione dell'aria viziata.

La fig. 6 rappresenta schematicamente un'applicazione di tale sistema a un tunnel fluviale.

L'aria pura, spinta da ventilatori, è guidata entro ampi condotti sistemati sotto il piano stradale ed è immessa per esempio in corrispondenza del gradino delle passerelle pedonali attraverso aperture (più o meno parzializzate in esercizio) lunghe circa 1 metro ed alte circa 15 cm, disposte a 4 o 5 metri di distanza l'una dall'altra. Anche l'uscita dell'aria viziata è interamente guidata mediante un sistema analogo di bocche e di condotti di estrazione, sistemati in figura in corrispondenza

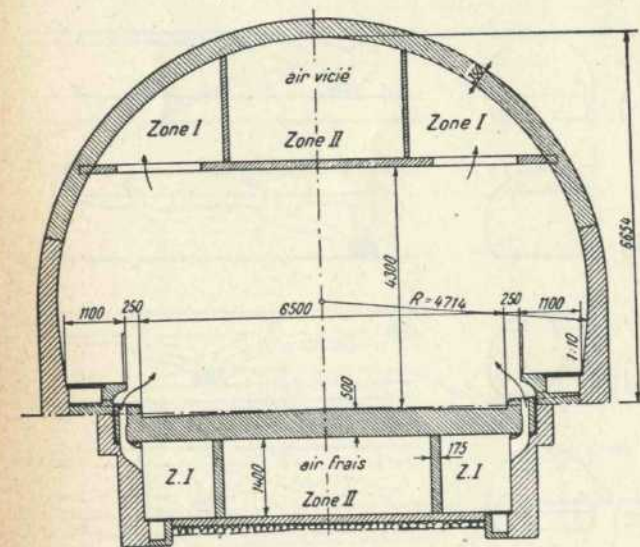


Fig. 11

del cielo della galleria. Un'altra applicazione dello stesso sistema a gallerie di montagna è indicata nella fig. 7; in essa entrambi i condotti sono ricavati nella parte superiore della galleria.

La fig. 8 mostra un'applicazione del sistema misto (tunnel di 3220 m, diametro interno 13,4 m, costruito sotto la Mersey a Liverpool, munito di due camini verticali intermedi); nel quale l'introduzione ha luogo in senso trasversale e l'estrazione in senso longitudinale; la galleria inferiore serve al transito di linee tranviarie a trazione elettrica, le quali però sono dotate di un proprio tunnel in corrispondenza delle rampe di accesso.

Con la fig. 9 si istituisce un confronto fra vari sistemi sotto l'aspetto della sicurezza e della visibilità nel caso di incendio di un veicolo (caso purtroppo già verificatosi più volte in America).

Emerge dal confronto fra il sistema a ventilazione « longitudinale » propriamente detto (a), i sistemi « misti » con sola introduzione trasversale dal basso (b) o con sola estrazione trasversale dall'alto (c) ed i sistemi a ventilazione « trasversale » con introduzione rispettivamente dal basso (d) e dall'alto (e), che le soluzioni con estrazione dall'alto risultano sotto questo aspetto preferibili.

4. - L'esperienza ha fino ad oggi mostrato che nei casi ordinari difficilmente si può garantire una distribuzione laterale sufficientemente uniforme da condotti di distribuzione, quando la loro lunghezza supera i 750 metri circa.

Per lunghezze maggiori la soluzione adottata consiste nel suddividere in più zone la galleria e nel servire ciascuna zona con un condotto apposito, condotto che risulterà quindi dotato di bocche laterali nel solo tratto (di lunghezza non maggiore del limite indicato) che esso è destinato a servire.

La fig. 10 mostra, a titolo di esempio ed in modo schematico, l'applicazione di tale principio ad una galleria lunga 3 km.

Nella progettata galleria sotto il colle di Kisten, in Svizzera, lunga 2 km, sono state previste appunto 2 zone di ventilazione (v. fig. 11).

Difficoltà sempre più gravi, e per l'entità dei ricambi d'aria e per questo frazionamento di condotti, si presentano nel caso di gallerie di maggiore lunghezza e soggette ad un notevole traffico.

Le figg. 12 e 13 mostrano gli schemi di possibili soluzioni, basate sull'impiego di camini intermedi (verticali o inclinati) facenti capo a centrali di pulsione e di aspirazione.

Questi camini riducono notevolmente l'ingombro dei condotti longitudinali e quindi l'ampiezza della sezione da perforare, ma la loro costruzione può talora risultare molto difficile.

Il Findeis ha proposto per tali casi di perforare una galleria ausiliaria (v. fig. 14), parallela alla principale, utilizzabile durante la costruzione (2) anche come tunnel per lo scarico ed il trasporto dei materiali e durante l'esercizio come condotto di distribuzione dell'aria pura, soffiata agli estremi me-

(2) Resa così più rapida anche perchè risulta possibile l'attacco simultaneo da più punti della perforazione principale.

dante dispositivi Saccardo. L'estrazione dell'aria avrebbe luogo, almeno nelle zone più profonde, per mezzo di condotti situati sotto il piano stradale.

Nella fig. 14 si è supposto che fossero praticate due gallerie stradali parallele fra loro e destinate ciascuna ad uno solo dei sensi di circolazione dei veicoli.

La disposizione, d'ordinario più costosa nei riguardi costruttivi, può essere prevista nel caso di rocce molto spingenti che rendono difficili l'apertura e il rinforzo di ampi vani, ed è certamente favorevole nei riguardi della ventilazione.

Infatti gli stessi veicoli inducono un moto di trascinamento nell'aria circostante, moto particolarmente sentito in un tunnel di limitate dimensioni trasversali.

Sono a questo proposito da citare alcune interessanti esperienze eseguite nel « Liberty tunnel » a Pittsburg negli Stati Uniti d'America.

Si trattava di un doppio tunnel composto da due tubi paralleli di 1790 metri di lunghezza e di 43 m<sup>2</sup> di sezione trasversale, adibiti ciascuno ad uno solo dei sensi di circolazione ed inizialmente privi di ventilazione artificiale. A tunnel vuoti fu rilevata dapprima una corrente naturale di circa 1 metro al secondo.

Dato corso alla circolazione stradale con una frequenza di circa 900 veicoli all'ora alla velocità da 45 a 65 km/h, la velocità dell'aria raggiunse i 4÷5 m/sec nel tunnel in cui la circolazione dei veicoli avveniva nello stesso senso della corrente naturale, mentre nell'altro tubo questa corrente fu rovesciata e raggiunse nel senso opposto a quello primitivo i 3÷4 m/sec.

Come si vede, si tratta di una circolazione di veicoli molto intensa, di un ordine di grandezza ben diverso da quello dei valichi alpini. Comunque, basta che la circolazione si svolga in modo da affievolire od arrestare la corrente naturale perchè si possa verificare in galleria qualche fatto increscioso (3).

Il fenomeno di trascinamento messo in evidenza dalle esperienze americane mostra altresì che la ventilazione longitudinale in una galleria con circolazione dei veicoli nei due sensi e con sezione poco ampia può dar luogo a seri inconvenienti.

5. - Riguardo al calcolo dei condotti di ventilazione, in lavori precedenti (Cfr. ATA - Ric. n. 5) ho dimostrato, utilizzando una proprietà dei numeri Bernouilliani, che la caduta di pressione lungo un condotto con distribuzione laterale uniforme della portata (cioè con bocche di erogazione ben regolate) e con regime turbolento di moto (vale a

(3) Sono adottati nei tunnel americani a ventilazione artificiale degli indicatori a distanza di CO, i cui dispositivi sensibili sono collocati in vari punti della galleria, mentre le indicazioni sono trasmesse e registrate in una cabina di comando, situata ad un'estremità della galleria stessa. È così possibile adeguare la velocità dei ventilatori e quindi la portata dell'aria alle reali e mutevoli esigenze del traffico. Alle quali esigenze occorre in ogni caso porre un limite per non eccedere nelle dimensioni dei condotti e dei ventilatori e nelle spese di esercizio.

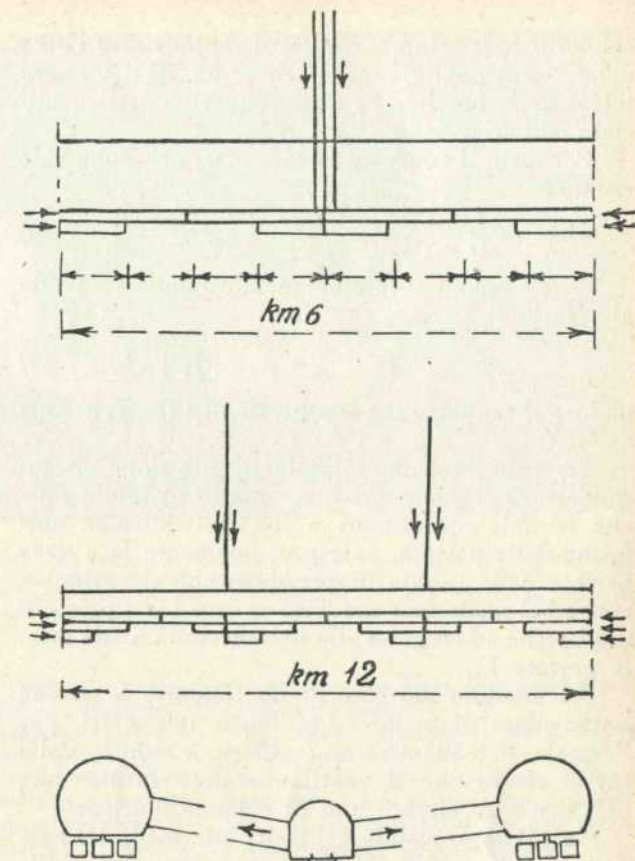


Fig. 12 - 13 - 14

dire nel caso più comune) è esprimibile mediante la formula:

$$p_0 - p_n = \lambda \frac{l}{D} \frac{\mu}{2} \frac{1}{\Omega^2} \left[ n - \frac{n(n-1)}{N} + \frac{n(n-1)(2n-1)}{6N^2} \right] V_0^2 \quad (3)$$

nella quale  $p_0$  è la pressione iniziale,  $p_n$  quella in corrispondenza della n-esima bocca,  $\lambda$  il coefficiente di attrito,  $l$  la distanza costante fra le mezzerie di due bocche consecutive,  $D$  il diametro medio del

Fig. 15

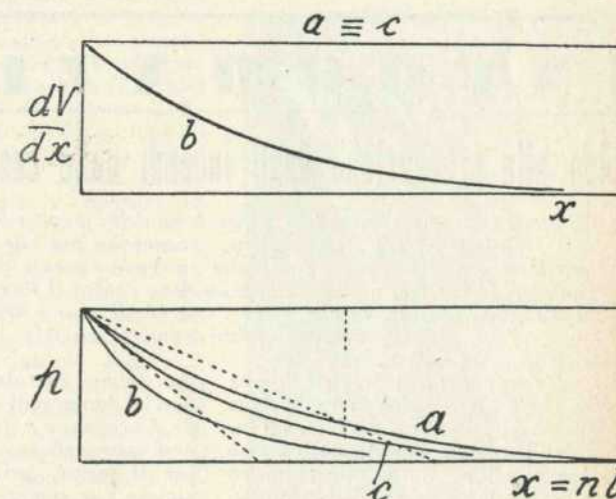


Fig. 16

condotto (pari al quadruplo del rapporto fra l'area della sezione retta ed il perimetro),  $N$  il numero totale delle bocche,  $V_0$  la portata volumetrica iniziale dell'aria.

Per tutto il condotto la caduta di pressione vale quindi:

$$p_0 - p_N = \lambda \frac{l}{D} \frac{\mu}{2\Omega^2} \left[ 1 + \frac{(N-1)(2N-1)}{6N} \right] V_0^2 \quad (4)$$

Se  $N$  è grande il secondo membro della (4) tende al valore:

$$p_0 - p_N = + \frac{1}{3} \lambda \frac{Nl}{D} \frac{\mu}{2} \left( \frac{V_0}{\Omega} \right)^2 \quad (5)$$

mentre il rapporto fra le espressioni (4) e (5) tende a  $3n/N$ .

Pertanto la caduta totale di pressione in un condotto a sezione costante, munito di molte bocche laterali equidistanti e con distribuzione uniforme della portata, vale prossimamente la « terza parte » della caduta di pressione che si verificerebbe nel medesimo condotto se esso fosse privo di tali bocche ed erogasse alla sua estremità finale tutta la portata  $V_0$ .

Ad esempio nel caso di un condotto a sezione rettangolare di  $m$   $2,5 \times 1,6$ , lungo 700 metri, per il quale  $V_0 = 30$   $m^3/sec$ ,  $l = 10$   $m$ ,  $\varphi = 0,01$ , dalla (5) si ricava che il ventilatore deve fornire una prevalenza di circa 5 mm di colonna d'acqua.

La (5) non è valida nei tratti intermedi del condotto e tanto meno nel tratto iniziale, nel quale la sua applicazione darebbe luogo a gravi errori, decrescendo ivi la pressione secondo la legge ordinaria.

Ad esempio, per  $N$  grande, il termine fra parentesi della (3) tende ad 1 all'inizio del condotto (per  $n=1$ ) e ad  $N/2$  a metà percorso (per  $n=N/2$ ), anziché ad  $N/3$  come avviene alla fine.

Ne risulta lungo il condotto l'andamento della pressione indicato con  $a$  in fig. 15b.

L'andamento indicato con  $b$  corrisponde invece all'ipotesi, che si fa spesso più o meno esplicitamente in questi casi, di una erogazione laterale attraverso ad una fessura continua di altezza costante  $h$  lungo la quale si suppone distribuita la portata  $V_0$ .

La linea  $b$  corrisponde quindi alla legge:

$$p_x - p_e = (p_0 - p_e) \exp \left( \frac{-\lambda x}{\xi (\alpha^2 - 1) D} \right) \quad (6)$$

in cui  $p_x$  è la pressione alla distanza  $x$  dall'origine,  $p_e$  è la pressione esterna,  $\xi$  è il coefficiente di resistenza della bocca di efflusso,  $\alpha$  il rapporto fra la velocità di erogazione e la velocità nel condotto.

È bene precisare che in questo caso la distribuzione non è uniforme, ma segue la legge esponenziale indicata in fig. 15a ed espressa dalla relazione:

$$V_x = V_0 \exp \left( - \frac{\alpha h}{\Omega} z \right) \quad (7)$$

in cui  $V_x$  è la portata che rimane ancora da erogare dopo il tratto  $x$  di condotto.

Se si vuole che la portata si distribuisca uniformemente lungo la fessura, cioè che sia, detta  $k$  una costante:

$$dV = kd(L-x) \quad (8)$$

occorre crescere l'altezza nel senso del moto secondo la legge:

$$h^2_x = \frac{k^2}{\xi \mu (p_x - p_e) + \Omega^2 x^2} \quad (9)$$

ciò che evidentemente si può fare al massimo fino a raggiungere l'altezza del condotto, individuando in tal modo una lunghezza limite.

La caduta di pressione assume allora la forma:

$$p_0 - p_x = \frac{1}{3} \frac{\lambda k^2}{D \Omega^2} \left[ L^3 - (L-x)^3 \right] \quad (10)$$

Per  $x=L$  si torna ad una espressione analoga alla (5), e cioè:

$$p_0 - p_L = \frac{1}{3} \frac{\lambda L}{D} \frac{\mu}{2} \left( \frac{V_0}{\Omega} \right)^2 \quad (11)$$

ma l'andamento della pressione lungo il condotto a fessura continua e regolata in altezza, come mostra la linea  $c$  in fig. 15, non coincide con quello  $a$  trovato per il condotto munito di bocche separate e regolate in lunghezza.

Cesare Codegone

## INFORMAZIONI

### Guida alla prevenzione degli incendi nelle case di abitazione

*Si mette sinteticamente in luce il problema della prevenzione degli incendi nei fabbricati ad uso di abitazione, accennando poi alle disposizioni da adottarsi per eliminare le cause che più comunemente danno origine al sinistro. L'A. tratta quindi della protezione contro il fuoco sia all'interno dell'edificio considerato che verso l'esterno di esso e termina con delle brevi considerazioni di indole generale.*

La prevenzione degli incendi è una tecnica che ha per iscopo la limitazione del rischio che il fuoco divampi all'interno dell'immobile considerato o a esso si propaghi dall'esterno e, ove il sinistro si verificasse, la riduzione della sua gravità, sia col frapporre ostacoli all'estensione dell'incendio, sia col facilitarne la

repressione agevolando l'intervento dei Servizi Antincendi col prevedere le strade d'accesso e i fronti d'attacco e col predisporre adeguate risorse idriche, poiché il mezzo principe dell'estinzione rimane pur sempre l'acqua.

È compito della Prevenzione inoltre il prendere i più acconci provvedimenti

affinchè le vite umane siano il più possibile salvaguardate, apprestando quindi delle vie di sicurezza da cui sia possibile porsi in salvo anche nella più malaugurata delle ipotesi.

Detto questo si comprende facilmente di quale importanza e da un punto di vista sociale (interesse della collettività a che siano evitate distruzioni di vite e di beni) e da un punto di vista più particolaristico (interesse del singolo a che il sinistro non si verifichi perchè, anche se le Compagnie d'Assicurazione coprono il rischio, esse rifondono su il danno emergente ma non il lucro cessante che derivava dal possesso dell'Azienda sinistrata) sia la retta applicazione dei principi fondamentali della Prevenzione, per la quale si battono da anni i Tecnici del Servizio Antincendi, incontrando però a volte una incomprensione che non può che essere originata da