

renziali che si stabiliscono lungo le diverse "vie di fuga" determinate dalla maggiore o minore apertura dei pannelli di tamponamento laterali dei tunnel e dalla diversa disposizione delle macchine operatrici. I valori riscontrati sono sempre risultati però all'interno dei limiti stabiliti in sede progettuale. In particolare, sono state rilevate nelle zone aperte, nelle quali si è praticato un condizionamento ambientale di comfort, velocità oscillanti tra 0,15 e 0,3 m/s. Nei corridoi all'interno dei tunnel sono stati invece riscontrati, come era previsto, valori superiori, oscillanti tra 0,3 e 0,5 m/s; è importante sottolineare come questa velocità relativamente alta sia percepita dagli utenti, esposti all'effetto del calore radiante dei macchinari, come un elemento di comfort anziché di disagio. All'interno dei corridoi compresi tra i tunnel

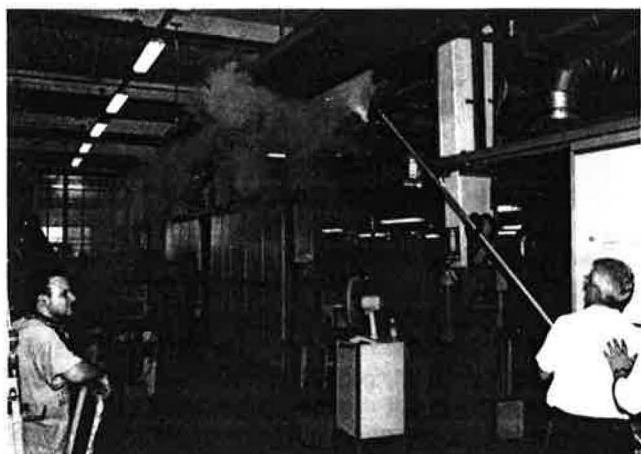


Figura 8 - Prova con un candelotto fumogeno lungo l'asse di un condotto in parte chiuso e in parte forellato

è stato anche valutato l'indice di rischio da stress termico WBGT ai sensi della Norma UNI ISO 7243, trovando valori mediamente pari a 25°C, comunque sempre al di sotto della soglia di allarme individuata dalla norma.

Sono state effettuate prove con i fumogeni, che hanno attestato la capacità del sistema di ripulire completamente i corridoi dagli inquinanti, esaltando nel contempo l'efficienza di captazione degli impianti di aspirazione.

La figura 6 mostra il comportamento del sistema, in un caso simile a quello schematizzato nella figura 3, sotto l'azione di un fumogeno direzionato contro il canale: nonostante la fortissima portata e velocità del fumo, il sistema si comporta come una vera e propria barriera che impedisce al fumo stesso di superare il piano orizzontale passante per il filo superiore della foratura.

Nella prova documentata dalla figura 7 il fumo era stato invece diffuso in prossimità del confine dei tunnel: si può notare come l'inquinante venga efficacemente trattenuto al di fuori del corridoio e richiamato velocemente dalle bocchette di aspirazione,

esaltando enormemente l'efficienza del sistema di estrazione che, in quella posizione, potrebbe contare, in assenza di immissione d'aria, su velocità di captazione molto modeste, certamente inferiori alla velocità di fuga delle particelle inquinanti.

La figura 8, infine, illustra una prova effettuata muovendo il candelotto fumogeno lungo l'asse di un condotto in parte chiuso e in parte forellato: nella parte chiusa, il fumo tende a salire verso l'alto, indisturbato, mentre nella parte forata viene direzionato verso la sottostante area da trattare; sono ben visibili l'effetto di mescolamento, dovuto alla forte induzione del sistema, e la direzionalità del getto, dovuto al contributo dei fori guida.

Dott. ing. Paolo Lazzerini, Libero professionista, Torino

RIASSUNTO - ABSTRACT

Ventilazione ad alta induzione in uno stabilimento industriale

I sistemi di ventilazione ad alta induzione, utilizzando canali forellati in tessuto plastificato, per le loro caratteristiche peculiari di flessibilità, economicità e funzionalità, possono costituire un'eccellente soluzione per molti problemi di ventilazione industriale, nei quali sono contemporaneamente presenti requisiti di comfort ambientale, qualità dell'aria, contenimento degli ingombri.

Viene qui riportato un esempio di installazione in uno stabilimento in cui ha luogo la lavorazione della gomma, le cui macchine operatrici producono calore e inquinamento ambientale sotto forma di vapori e polveri.

Parole chiave: Ventilazione in ambiente industriale - Sistemi ad alta induzione - Canali in tessuto

Induction Ventilation in Industrial Buildings

Due to their flexible and functional features and their low cost, induction systems which make use of perforated ducts in plastic-coated fabric are an excellent solution to many ventilation problems in industrial buildings where environmental comfort, air quality and reduced volumes are required. This article takes into consideration an example of installation in a rubber processing unit where there are machines producing heat and polluting vapours and dusts.

Key words: Ventilation in industrial buildings - Induction ventilation - Ducts in plastic-coated fabric

Paolo Lazzerini

VENTILAZIONE AD ALTA INDUZIONE IN UNO STABILIMENTO INDUSTRIALE

INTRODUZIONE

I sistemi di ventilazione ad alta induzione, utilizzando canali forellati in tessuto plastificato, per le loro caratteristiche peculiari di flessibilità, economicità e funzionalità, possono costituire un'eccellente soluzione per molti problemi di ventilazione industriale, nei quali sono contemporaneamente presenti requisiti di comfort ambientale, qualità dell'aria, contenimento degli ingombri.

Viene qui riportato un esempio di installazione in uno stabilimento in cui ha luogo la lavorazione della gomma, le cui macchine operatrici producono calore e inquinamento ambientale sotto forma di vapori e polveri.

SITUAZIONE PRECEDENTE

Nello stabilimento era già presente un impianto di condizionamento a tutt'aria, distribuita tramite canali in lamiera e bocchette rettangolari, oltre a numerosi sistemi di captazione degli inquinanti.

Le macchine di lavorazione dello stabilimento sono per lo più disposte, in linea, al di sotto di tettoie piane, i cosiddetti "tunnel", sulle quali sono inserite alcune bocchette di aspirazione; in questo modo i tunnel fungono da cappe di enormi dimensioni. Il personale operativo staziona nei corridoi, di circa 2 metri di larghezza, che si vengono a formare tra due tunnel paralleli.

La figura 1 illustra schematicamente la situazione. È anche visibile la tipologia dell'impianto di immissione dell'aria, quale si presentava prima dell'intervento. L'impianto era diviso in due sezioni, ciascuna delle quali faceva capo a una unità

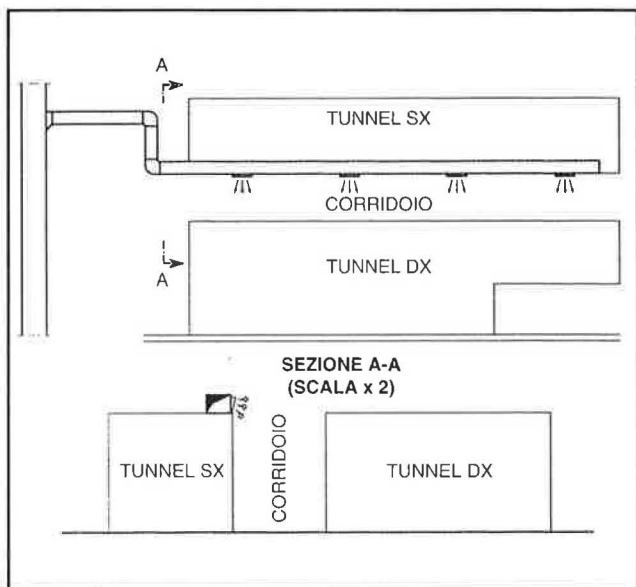


Figura 1 - Schema delle zone di lavorazione in prossimità dei tunnel, prima dell'intervento di adeguamento

di trattamento aria, dotata di filtro, batteria di scambio termico e ventilatore centrifugo. Il funzionamento dell'impianto non era del tutto soddisfacente sotto il punto di vista dell'abbattimento del carico termico, del comfort ambientale e dell'efficienza degli impianti di captazione. Il sistema di diffusione dell'aria esponeva a correnti fredde gli operatori colpiti dal getto d'aria diretto delle bocchette, senza riuscire nel contempo a raffreddare sufficiente-

mente l'ambiente, nel quale è presente un forte carico termico radiante dovuto all'alta temperatura delle superfici esterne dei macchinari; il sistema di captazione dei tunnel non riusciva ad evitare del tutto la fuoriuscita di vapori verso il corridoio, che avrebbe dovuto invece essere una zona protetta. L'Azienda aveva così deciso di intervenire per migliorare le condizioni di comfort e qualità ambientale delle postazioni di lavoro.

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO

Nel progettare l'intervento correttivo si è dovuto tenere in conto la necessità di non fermare la produzione durante la realizzazione del medesimo. Pertanto si è operato, per quanto possibile, all'esterno dello stabilimento, costruendo una nuova centrale frigorifera, di maggiore potenzialità, impiegante compressori a vite; per incrementare la quantità di aria trattata sono state installate, sempre all'esterno, due nuove unità di trattamento, in sostituzione delle due esistenti. La figura 2 mostra una delle due unità di trattamento aria, con le pompe di circolazione e uno scorcio del gruppo frigorifero. È visibile, al di sopra dell'unità, il condotto di by-pass della batteria di raffreddamento con la serranda modulante motorizzata, utilizzata come attuatore del sistema di regolazione automatica della temperatura.

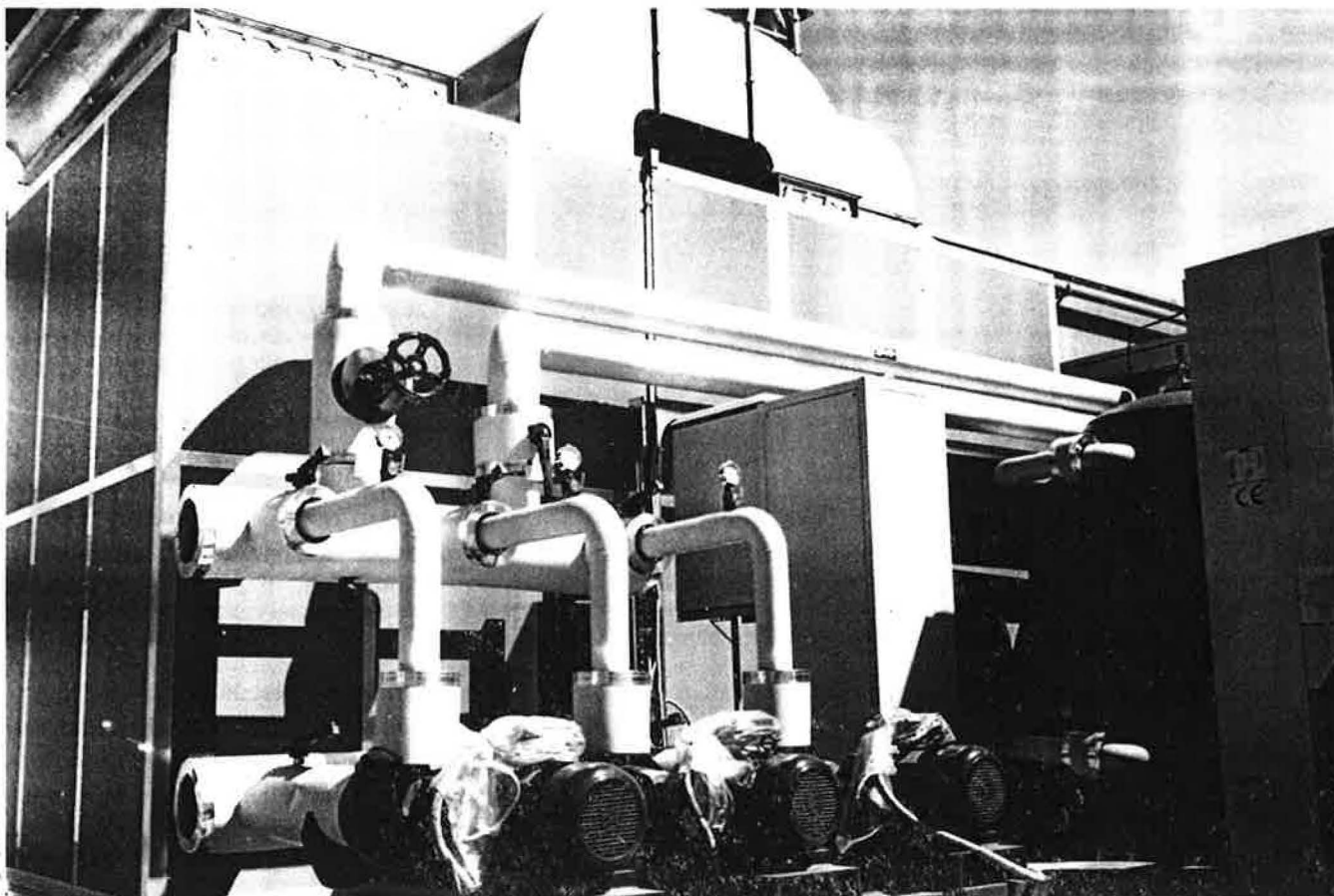


Figura 2 - Una delle due nuove unità di trattamento aria

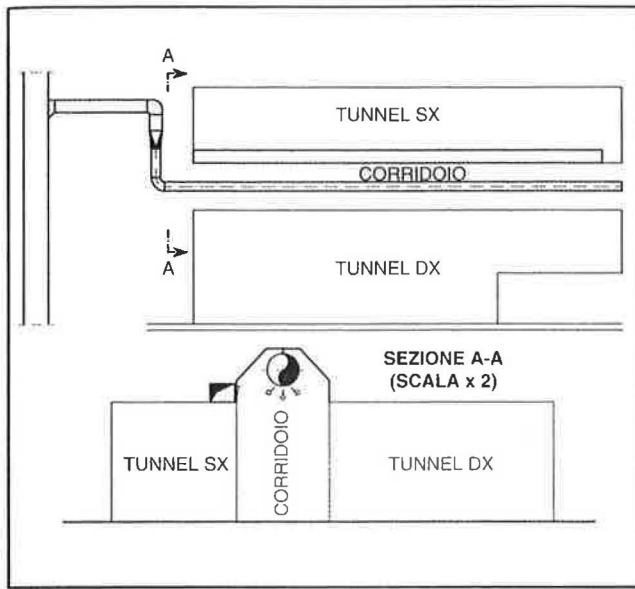


Figura 3 - Schema delle zone di lavorazione in prossimità dei tunnel, dopo l'intervento di adeguamento

Per ovviare a tutti gli inconvenienti lamentati occorreva tuttavia rivedere la diffusione dell'aria in ambiente. Si è così deciso di conservare i collettori della rete di distribuzione esistente, sostituendo soltanto i rami terminali, sui quali erano montate le bocchette rettangolari, con tratti di canale in tessuto; il bassissimo peso di tali canali ha consentito di risolvere agevolmente il problema dello staffaggio, con soluzioni rapide che non hanno creato, nel montaggio, intralcio alle lavorazioni del processo produttivo dello stabilimento.

La figura 3 illustra schematicamente la situazione delle zone di lavorazione in prossimità dei tunnel dopo l'intervento di adeguamento: i canali in lamiera dell'impianto esistente sono stati scollegati dall'impianto centrale, ma lasciati in sede, mentre sono stati posati dei nuovi rami di canale forato cilindrico, sospesi a dei piccoli portali in profilato metallico saldati direttamente al telaio portante dei tunnel. Si è trattato, in questo caso, di interventi mirati alle particolari esigenze di quel tipo di lavorazione. In altre zone dello stabilimento, dove le macchine operatrici sono disposte secondo un layout a "isola", senza tunnel, sono stati installati altri rami di condotto forato, destinati a trattare uniformemente l'area interessata.

I condotti in tessuto sono fissati a binari rigidi paralleli all'asse del cilindro, a loro volta appesi a dei tiranti verticali; a impianto spento, i condotti si afflosciano, per gonfiarsi poi sotto l'effetto della pressione dell'aria quando l'impianto viene messo in funzione.

La sostituzione delle due unità di trattamento ha consentito di aumentare la pressione statica dell'aria, in modo da garantire all'imbocco dei canali in tessuto la pressione di 250 Pa richiesta per il corretto funzionamento del sistema. I due nuovi ventilatori sono asserviti a regolatori di velocità a inverter: questo consente di ridurre la portata dell'aria in condizioni di carico

termico meno gravoso e di avviare gradualmente l'impianto, all'accensione, evitando il fastidioso (anche se innocuo) fenomeno della produzione di un'onda sonora, simile a un piccolo scoppio, che si verificherebbe invece gonfiando i condotti bruscamente.

SISTEMA DI DIFFUSIONE

Nei sistemi di diffusione tradizionali, i condotti svolgono la funzione di trasportare l'aria trattata, che poi fuoriesce dalle bocchette o dai diffusori. Si realizza così una diffusione "per punti": in generale, maggiore è il numero di questi punti, migliore e più omogenea è la distribuzione dell'aria in ambiente.

In corrispondenza dell'accelerazione subita dall'aria in uscita, attraverso le luci di passaggio delle bocchette o dei diffusori, si verifica una depressione locale che richiama per effetto induttivo una certa quantità di aria ambiente, che si miscela con l'altra: il rapporto tra aria indotta e aria di immissione viene detto, com'è noto, rapporto di induzione. Più elevata è la quantità di aria indotta, minore è la differenza, sia in regime di riscaldamento che di raffrescamento, tra la temperatura dell'aria di miscela e quella dell'aria ambiente. I diffusori anemostatici e, soprattutto, le bocchette hanno normalmente un rapporto di induzione relativamente basso: ciò significa che l'aria di mandata proveniente dal canale, la cosiddetta "aria primaria", si miscela poco con l'"aria secondaria" dell'ambiente, soprattutto se si tratta di aria primaria a bassa temperatura.

Il getto d'aria proveniente da un punto di diffusione si allarga a cono, man mano che si allontana dal punto stesso, verso la zona da trattare; solo la superficie esterna del cono di diffusione entra in contatto con l'aria dell'ambiente, mentre i filetti fluidi all'interno di tale superficie tendono a mantenersi alla temperatura di immissione. La differenza di densità tra l'aria immessa e l'aria interna tende a modificare la traiettoria del getto, per cui l'asse del cono di diffusione si curva verso l'alto o verso il basso a seconda del segno del gradiente termico.

Nei sistemi di condizionamento a tutt'aria, la temperatura di immissione si trova ad essere, nelle diverse situazioni, superiore, neutra o inferiore alla temperatura dell'ambiente. Se allora si progetta il sistema di diffusione in modo mirato per le esigenze di riscaldamento, così che il getto d'aria possa raggiungere la zona occupata (al di sotto di 2 metri dal pavimento) evitando il "galleggiamento" tipico dell'aria calda pur senza dare luogo a correnti fastidiose, la distorsione del cono di diffusione durante il regime di raffrescamento causa un aumento incontrollato della velocità dell'aria, rischiando di creare situazioni di disagio per gli occupanti; per evitare questo, a meno di ricorrere a diffusori a geometria variabile, si pro-

getta il sistema per una situazione intermedia, ottenendo di fatto un compromesso che, se può essere accettabile dal punto di vista del comfort, causa però, in regime di riscaldamento, la stratificazione dell'aria verso la copertura dei locali: in ambienti industriali, dove le altezze superano facilmente i cinque metri, le implicazioni energetiche della stratificazione, in termini di aumento delle dispersioni termiche e delle infiltrazioni di aria esterna, possono essere notevoli.

I condotti forati svolgono la duplice funzione di trasportare l'aria e di diffonderla in ambiente: il sistema può essere pensato come un'estensione del sistema di diffusione per punti prima descritto, nel quale il numero di punti viene aumentato a dismisura.

L'aria primaria che fuoriesce dai fori dei canali in tessuto richiama, per induzione, aria secondaria dall'ambiente circostante: la somma dei due flussi, che viene detta "aria totale", raggiunge poi l'ambiente.

I canali impiegati nell'intervento in oggetto presentano fori di differente forma e dimensione. Il diametro dei fori, influenzando la velocità di fuoriuscita dell'aria, è in stretto rapporto con la capacità dell'aria stessa di richiamare altra aria per induzione: il rapporto di induzione del singolo foro è quindi una funzione decrescente del diametro del foro stesso.

Con fori di piccola dimensione si possono raggiungere rapporti di induzione dell'ordine di $30 \div 40$, mentre con fori di dimensione maggiore l'induzione è assai meno sensibile. In generale, i fori praticati sui canali possono essere suddivisi, in base al ruolo che giocano nel sistema, in due categorie:

- *fori di induzione*, di piccolo diametro (alto rapporto di induzione), che hanno la funzione di richiamare l'aria ambiente in quantità maggiore o minore, a seconda delle necessità;
- *fori guida*, di diametro relativamente grande (basso rapporto di induzione), che hanno la funzione di determinare a quale distan-

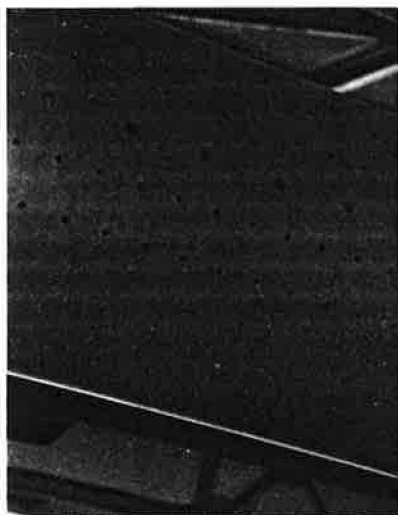


Figura 4 - Un canale in opera



Figura 5 - Canale dalla foratura particolare installato sull'asse del corridoio

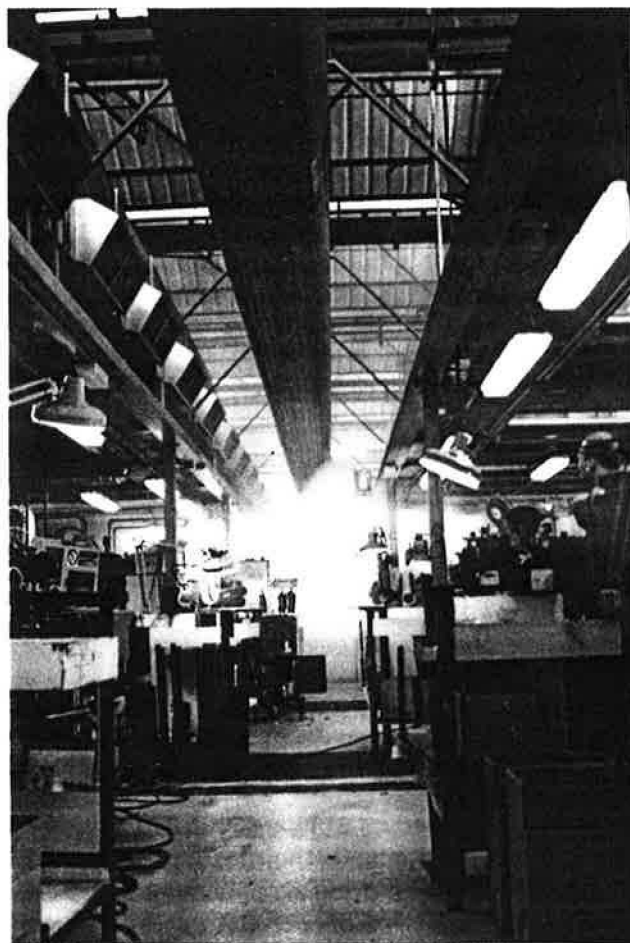


Figura 6 - Prova di comportamento del sistema con un fumogeno direzionato contro il canale

za, in che direzione e a quale velocità verrà spostata la massa d'aria totale trattata dal sistema.

La figura 4 illustra un esempio di un canale posato in opera, nel quale sono visibili quattro file di fori di induzione e una fila centrale di fori guida. La foratura viene realizzata in modo simmetrico o asimmetrico, rispetto all'asse del canale, a seconda del comportamento che si desidera abbia il getto di aria totale, quindi in funzione delle distanze tra il condotto e gli ostacoli presenti entro il raggio di influenza (pareti, macchinari, altri condotti ecc.) e in funzione della posizione che il canale occupa rispetto all'area da trattare. Quando nel canale sono presenti più file longitudinali parallele di orifizi, sufficientemente vicine tra loro, ha luogo la reinduzione dell'aria, già trattata da una fila di fori, da parte delle altre file: l'aria totale di un foro viene cioè indotta, come aria secondaria, dal foro vicino; questo fenomeno riduce la quantità di aria ambiente complessivamente indotta e fa sì che il rapporto di induzione totale del canale, pari al rapporto tra il flusso di aria totale e quello di aria primaria, possa essere in realtà più basso di quello del singolo foro, pur mantenendosi su valori elevati.

In ogni caso, in prossimità dei fori ha luogo un efficace mescolamento tra aria primaria e aria ambiente, che si verifica integralmente, a differenza di quanto avviene con i diffusori tradizionali, a una distanza

ridottissima dal punto di diffusione: questo consente di garantire una drastica riduzione della differenza di temperatura tra aria primaria e ambiente, limitando molto sia il disagio da correnti d'aria che il fenomeno della stratificazione.

Il tipo di foratura realizzato sui vari canali è stato studiato in modo diverso a seconda dei casi.

Nelle situazioni nelle quali occorreva soprattutto controllare la temperatura dell'ambiente, senza preoccuparsi di contrastare anche un flusso di inquinanti, sono state praticate poche file di fori, distanziate tra loro, per limitare il fenomeno della reinduzione (fig. 4): si è ottenuto così un sistema ad elevato rapporto di induzione totale, dell'ordine di 20÷25, con un forte rimescolamento dell'aria ambiente. L'aria totale, miscela dell'aria primaria del canale con l'aria secondaria indotta, viene introdotta nella zona occupata ad una temperatura molto prossima a quella dell'ambiente, tale quindi da non arrecare disturbo agli occupanti; il forte rapporto di induzione del sistema garantisce inoltre una eccellente omogeneizzazione della temperatura in tutto l'ambiente.

La presenza dei fori guida conferisce lancio e direzionalità al flusso di aria totale.

In un caso, in cui occorreva climatizzare due aree di lavoro allineate tra loro, ma distanziate, è stato utilizzato un condotto chiuso, sul quale è stata praticata la foratura unicamente per due tratti sovrastanti le aree da trattare.

Un tipo di foratura completamente diverso è stato invece utilizzato nei casi, del tipo illustrato nelle figure 1 e 3, nei quali sussisteva anche un problema pressante di controllo delle emissioni inquinanti.

In queste situazioni è stato installato un canale sull'asse di ogni corridoio (fig. 5, vedi anche foto in apertura); su tale canale è stata praticata una foratura molto fitta, con molte file parallele e ravvicinate di orifici di piccola dimensione e totale assenza di fori guida, ottenendo una forte reinduzione e, conseguentemente, rapporti di induzione totale molto bassi, dell'ordine di 2.

In tal modo, un sistema di diffusione nato per realizzare un forte rimescolamento di aria funziona invece come un sistema a dislocamento: l'aria totale, a temperatura inferiore a quella dell'ambiente, scende verso il basso con un movimento "a pistone", respingendo gli inquinanti all'interno del tunnel.

Per potere consentire il funzionamento del sistema a portata variabile è stato utilizzato uno speciale disegno ovalizzato dei fori, caratterizzato da un grande perimetro, a parità di sezione: si è così potuto mantenere un elevato rapporto di induzione dei fori anche al diminuire della portata dell'aria in uscita dai fori stessi, garantendo il funzionamento a dislocamento in tutte le condizioni.

A causa della velocità relativamente elevata all'im-



Figura 7 - Prova con fumo diffuso in prossimità del confine del tunnel

bocco dei canali in tessuto, l'aria tende ad uscire dai fori praticati nel primo tratto dei canali stessi, per una lunghezza di circa 1÷2 metri, con una certa componente assiale di velocità che spinge il getto un po' in avanti, anziché determinare un lancio perfettamente ortogonale al condotto, come si verifica nel resto del canale: di conseguenza, la zona sottostante avrebbe rischiato di venire interessata dal lancio di aria totale in misura inferiore al resto della linea. Per compensare questo effetto sono stati praticati alcuni fori guida, visibili nella figura 5, allo scopo di correggere il fenomeno accentuando la direzionalità verticale del lancio; su tali fori sono state successivamente inserite delle reticelle spandiflusso in tessuto sintetico, per evitare che il getto d'aria troppo compatto potesse alterare in quella zona il regime di velocità residue in ambiente.

PROVE E MISURE IN CAMPO

Le misure in campo hanno messo in luce una notevole uniformità dei parametri fisici caratteristici (temperatura, umidità relativa, velocità residua) in tutto lo stabilimento.

Le velocità residue dell'aria, misurate a un'altezza di circa 1,5 metri, sono risultate estremamente variabili nelle diverse posizioni, a causa delle correnti prefe-