

***AIDII***

*Associazione Italiana degli Igienisti Industriali*  
per l'igiene industriale e per l'ambiente  
ente no profit

**MONOGRAFIE IN IGIENE INDUSTRIALE**

**VOLUME 2**

***Principi di ventilazione industriale***

a cura di

GIUSEPPE NANO e RENATO ROTA

*Editors*

GIULIO SESANA - CARLO SALA

TIPOGRAFIA  EDITRICE Srl

PAVIA - 2005

*Elaborazione del testo e delle immagini  
a cura della Segreteria Scientifica AIDII*

*Stampa e Fotolito: Tipografia PI-ME Editrice, Pavia*

PRINTED IN ITALY  
PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA

© 2005

AIDII

20129 Milano - Via G.B. Morgagni, 32

Tel. 02-20240956 - Fax 02-20241784

E-mail: [aidii@aidii.it](mailto:aidii@aidii.it) - [rivista@aidii.it](mailto:rivista@aidii.it)

ISBN 88-7963-183-7

Tutti i diritti sono riservati.  
Nessuna parte di questo libro  
può essere riprodotta, senza  
la preventiva autorizzazione  
scritta dell'editore.

L'immagine di copertina è tratta da: Caio Plinio Odescalchi *“La medicina preventiva del lavoratore con solventi: la prevenzione nei calzaturifici”* Edizioni Enpi, Roma 1963. Vuole essere un omaggio all'autore che già negli anni '60 aveva ben capito l'importanza di una corretta progettazione dei sistemi di ventilazione ai fini del miglioramento delle condizioni ambientali.

# Indice

<b>Introduzione</b> .....	ix
<b>Prefazione</b> .....	xi
<b>1 CONCETTI GENERALI</b> .....	1
1.1 UNITÀ DI MISURA DELLA CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI .....	2
1.2 PRINCIPI DI FLUIDODINAMICA APPLICATA AL MOTO DELL'ARIA IN TUBAZIONI..	4
1.2.1 Perdite di carico distribuite .....	8
1.2.2 Perdite di carico concentrate .....	10
<b>2 VENTILAZIONE GENERALE</b> .....	15
2.1 MODELLO A MISCELAZIONE PERFETTA .....	15
2.1.1 Condizioni stazionarie .....	17
2.1.2 Ambienti non ventilati .....	18
2.1.3 Condizioni non stazionarie .....	20
2.1.4 Ricircolazione di aria .....	21
2.2 CONDIZIONI DI MISCELAZIONE NON PERFETTA .....	23
2.3 SISTEMI DI VENTILAZIONE A EFFICIENZA NON UNITARIA .....	24
2.3.1 Sistemi di ventilazione con flusso unidirezionale (a pistone) .....	25
2.3.2 Sistemi a stratificazione .....	25
2.3.3 Sistemi a zona .....	27
2.3.4 Sistemi a miscelazione .....	28
2.3.5 Valori tipici dell'efficienza di ventilazione .....	28
2.4 INGRESSI ED USCITE DI ARIA .....	29
2.4.1 Distribuzione dell'aria per ventilazione a miscelazione .....	31
2.4.2 Distribuzione dell'aria per ventilazione a flusso a pistone .....	33
2.4.3 Distribuzione dell'aria per ventilazione a stratificazione .....	36
2.4.4 Distribuzione dell'aria a zona .....	36
2.5 UBICAZIONE DEGLI SCARICHI .....	37
2.6 METODI DI IMMISSIONE ED ESTRAZIONE DELL'ARIA .....	39
2.6.1 Ventilazione naturale .....	39
2.6.2 Estrazione forzata .....	39
2.6.3 Ingresso forzato .....	40
2.6.4 Estrazione e ingresso forzati .....	41
2.7 CONCLUSIONI .....	41
2.8 ESERCIZI .....	43
2.8.1 Esercizio n. 1 .....	43

2.8.2	<i>Esercizio n. 2</i> .....	45
2.8.3	<i>Esercizio n. 3</i> .....	46
2.8.4	<i>Esercizio n. 4</i> .....	47
2.8.5	<i>Esercizio n. 5</i> .....	48
2.8.6	<i>Esercizio n. 6</i> .....	50
2.8.7	<i>Esercizio n. 7</i> .....	51
2.8.8	<i>Esercizio n. 8</i> .....	52
2.8.9	<i>Esercizio n. 9</i> .....	53
2.8.10	<i>Esercizio n. 10</i> .....	55
<b>3</b>	<b>VENTILAZIONE LOCALE</b> .....	<b>57</b>
3.1	MOVIMENTO DELL'ARIA NEI PRESSI DELLA ZONA DI ASPIRAZIONE .....	61
3.2	CRITERI GENERALI .....	65
3.3	DISTRIBUZIONE DELL'ARIA .....	71
3.4	CONTROLLO DELLE EMISSIONI DA VASCHE .....	74
3.4.1	<i>Cappe chiuse</i> .....	75
3.4.2	<i>Cappe laterali</i> .....	76
3.4.3	<i>Cappe aperte</i> .....	76
3.4.4	<i>Calcolo della portata di aspirazione</i> .....	76
3.5	VENTILAZIONE PUSH-PULL .....	82
3.6	OPERAZIONI DI RIEMPIMENTO .....	85
3.7	CAPPE APERTE PER SORGENTI GALLEGGIANTI .....	88
3.7.1	<i>Pennacchi che si formano da sorgenti puntiformi e lineari</i> .....	89
3.7.2	<i>Convezione sopra superfici orizzontali</i> .....	90
3.7.3	<i>Controllo di pennacchi galleggianti</i> .....	92
3.8	OPERAZIONE DI MOLATURA .....	95
3.9	OPERAZIONI DI SALDATURA .....	97
3.10	ESERCIZI .....	98
3.10.1	<i>Esercizio n. 11</i> .....	98
3.10.2	<i>Esercizio n. 12</i> .....	99
3.10.3	<i>Esercizio n. 13</i> .....	100
3.10.4	<i>Esercizio n. 14</i> .....	100
3.10.5	<i>Esercizio n. 15</i> .....	101
3.10.6	<i>Esercizio n. 16</i> .....	102
3.10.7	<i>Esercizio n. 17</i> .....	102
<b>4</b>	<b>VENTILATORI E TUBAZIONI</b> .....	<b>105</b>
4.1	TIPI DI VENTILATORI .....	105
4.1.1	<i>Ventilatori a flusso assiale</i> .....	105
4.1.2	<i>Ventilatori centrifughi</i> .....	107

4.2	CURVE CARATTERISTICHE .....	109
4.2.1	<i>Curve di pressione statica</i> .....	109
4.2.2	<i>Curva di potenza</i> .....	111
4.2.3	<i>Curva di efficienza meccanica</i> .....	113
4.2.4	<i>Leggi dei ventilatori</i> .....	113
4.3	USO DEI VENTILATORI NEI SISTEMI DI VENTILAZIONE .....	114
4.3.1	<i>Scelta del ventilatore in sistemi di ventilazione generale</i> .....	115
4.3.2	<i>Scelta del ventilatore in sistemi di ventilazione locale</i> .....	115
4.3.3	<i>Curva di resistenza del sistema di aspirazione</i> .....	115
4.3.4	<i>Collegamento del ventilatore al sistema</i> .....	116
4.4	TUBAZIONI .....	118
4.4.1	<i>Sistemi ad aspirazione singola</i> .....	118
4.4.2	<i>Sistemi ad aspirazioni multiple</i> .....	119
4.4.3	<i>Distribuzione della portata</i> .....	120
<b>5</b>	<b>INGRESSI E USCITE</b> .....	<b>123</b>
5.1	INGRESSI D'ARIA E CAMINI DI SCARICO .....	123
5.2	GENERAZIONE DEGLI INQUINANTI .....	126
5.2.1	<i>Misure in campo</i> .....	126
5.2.2	<i>Riempimento di recipienti</i> .....	127
5.2.3	<i>Fattori di emissione</i> .....	128
5.2.4	<i>Modelli di diffusione</i> .....	128
5.3	ESERCIZI .....	130
5.3.1	<i>Esercizio n. 18</i> .....	130
5.3.2	<i>Esercizio n. 19</i> .....	130
<b>6</b>	<b>ANALISI DEI SISTEMI DI VENTILAZIONE</b> .....	<b>133</b>
6.1	CODICI DI FLUIDODINAMICA COMPUTAZIONALE .....	133
6.2	LE EQUAZIONI DEL MODELLO .....	134
6.2.1	<i>La soluzione delle equazioni</i> .....	138
6.2.2	<i>Le condizioni al contorno</i> .....	140
6.2.3	<i>Esempio applicativo</i> .....	141
6.3	METODI DI MISURA DELL'EFFICIENZA DEI SISTEMI DI VENTILAZIONE	
	LOCALIZZATA .....	145
6.3.1	<i>Determinazione della velocità di cattura</i> .....	146
6.3.2	<i>Determinazione dell'efficienza di cattura</i> .....	146
6.3.3	<i>Determinazione dell'efficienza di igiene professionale</i> .....	149

## *Introduzione*

Il secondo volume della collana delle monografie di Igiene Industriale è dedicato ai problemi della ventilazione industriale. Affronta dunque un campo vasto e di notevole complessità e assolutamente necessario per implementare e gestire correttamente uno strumento importante di protezione attiva dei lavoratori, può costituire un valido aiuto per la verifica dei sistemi installati o da installare e, indirettamente, per la valutazione dei rischi residui. Fornisce delle basi rigorose di conoscenza che permettono di valutare i segmenti della ventilazione generale e locale, le tipologie dei ventilatori, le modalità di aspirazione e di distribuzione della portata, gli ingressi d'aria e i camini di scarico; introduce inoltre un accenno ai fattori di emissione e ai modelli di diffusione, i concetti della fluidodinamica computazionale che consentono di stimare a priori l'efficienza dei sistemi di ventilazione localizzata. I capitoli principali sono corredati da esercizi o da esempi applicativi per conferire maggiore chiarezza e forza didattica. Gli autori della monografia: Giuseppe Nano e Renato Rota che hanno maturato notevole esperienza professionale e didattica nel campo, hanno tenuto conto dell'esigenza di un inquadramento razionale e approfondito della problematica e di una trattazione chiara ed efficace. Il risultato ottenuto è più che soddisfacente e costituisce un deciso salto di qualità rispetto alla edizione utilizzata finora. La monografia offre l'opportunità di aggiornare le conoscenze nel campo della ventilazione a chi pratica da tempo l'igiene industriale e può essere utilizzata agevolmente come strumento didattico.

*Gli Editori*

CARLO SALA - GIULIO SESANA

## *Prefazione*

*Questo testo raccoglie in modo organico il materiale presentato in diversi corsi di aggiornamento professionale organizzati dall'Associazione Industriale degli Igienisti Industriali ed ha lo scopo, senza alcuna pretesa di coprire tutti gli aspetti del problema, di introdurre il lettore ai principi generali della progettazione e verifica dei sistemi di ventilazione industriale.*

*Ulteriori approfondimenti possono essere reperiti nei numerosi volumi che trattano in modo esaustivo i diversi argomenti di interesse. Tra gli altri si segnalano i seguenti testi di riferimento:*

- Committee on Industrial Ventilation of ACGIH, *Industrial ventilation: a manual of recommended practice*, ACGIH 2001;
- H. Goodfellow, E. Tati ed., *Industrial ventilation design guidebook*, Academic Press, 2001.

*La segnalazione di eventuali refusi presenti nel testo sarà particolarmente gradita.*

GIUSEPPE NANO - RENATO ROTA