

INQUINAMENTO DA GAS ANESTETICI NELLE SALE OPERATORIE: MISURA DELL'ESPOSIZIONE PERSONALE E MONITORAGGIO AMBIENTALE

G. BERTONI (a), D. BROCCO (a), C. PERRINO (a), M. DE MEDICI (b), T. CAMILLI GIAMMEI (b)

(a) CNR - Istituto Inquinamento Atmosferico, Area della Ricerca di Roma, Monterotondo Stazione, Roma

(b) Servizio di Anestesia e Rianimazione, Ospedale S. Camillo De Lellis - USL RM 16, Roma

Riassunto. - Sono state esaminate le condizioni ambientali di sei sale operatorie durante la normale attività di lavoro. La concentrazione di protossido di azoto ed anestetici alogenati nell'aria è stata misurata in continuo per spettrofotometria nell'infrarosso sia nell'ambiente che presso la postazione dell'anestesista. L'effettiva esposizione dell'anestesista agli anestetici alogenati è stata valutata per mezzo di campionatori personali "attivi" e "passivi" di carbone attivo. I risultati, confrontati con i valori limite raccomandati dal NIOSH, sono discussi in relazione ai differenti sistemi di espulsione dei gas anestetici adottati nelle sale.

Summary (Anaesthetic vapours pollution in operating rooms: personal exposure measurements and continuous monitoring of environmental parameters). - An investigation performed in six operating theatres in order to evaluate the ambient state during normal working conditions is reported. Air concentration of nitrous oxide and halogenated anaesthetics have been continuously measured in the environment as well as at the anaesthetist's position by infra-red spectrophotometry. The actual exposure of the anaesthetist to halogenated anaesthetics has been evaluated by means of "active" and "passive" personal samplers made of active charcoal. The results, compared with NIOSH threshold limit values, are discussed by taking into account the effect of different expulsion systems of the waste anaesthetics.

Introduzione

Non vi è dubbio che la sostituzione dei vecchi metodi di anestesia, che utilizzavano prevalentemente etere etilico e cloroformio, con l'impiego del protossido d'azoto e di idrocarburi o eteri alogenati (flutano ed etrano), abbia portato notevoli vantaggi tecnici. Tuttavia, nell'ultimo ventennio si è rilevato negli ambienti scientifici un crescente stato di allarme riguardo all'inquinamento derivante dall'uso di tali sostanze [1-4]. Infatti, oltre ad un lieve sintomatologia lamentata dal personale esposto, consistente in astenia, sonnolenza, inappetenza, nausea e cefalea, molti autori danno per sicuro l'insorge-

re di una patologia a lungo termine [5-8]. Anche se le correlazioni trovate sono spesso oggetto di interpretazioni contrastanti, annotiamo che tali danni a lungo termine consisterebbero in: patologie epato-biliari, malattie del sistema reticolo-endoteliale e linfatico [5, 9-11], malformazioni dei figli del personale femminile, tumori del sistema linfatico e, secondo una recente ipotesi, diminuzione della reazione immunitaria [12].

Un monitoraggio chimico-fisico dello stato ambiente risulta quindi necessario sia per correlare in modo rigoroso la potenziale azione tossica degli anestetici con i parametri chimici obiettivi, sia per progettare un qualunque intervento di bonifica dell'ambiente. E' necessario inoltre valutare, mediante adatti dispositivi, l'esposizione personale dei lavoratori, che, dipendendo dalla specifica mansione e dal soggettivo modo di operare, varia da individuo a individuo. Varie indagini sono state effettuate nel nostro paese per il controllo dell'inquinamento da gas anestetici nelle sale operatorie [13-15], ma le differenti tecniche di campionamento impiegate non sempre rendono possibile il confronto dei dati. A tale scopo, nel presente lavoro vengono confrontate diverse tecniche di prelievo e di analisi per la determinazione dei gas e vapori anestetici. I risultati di una indagine eseguita in alcune sale operatorie vengono, inoltre, discussi in funzione dei differenti sistemi di espulsione dei gas anestetici adottati nelle varie sale.

Parte sperimentale

Caratteristiche delle sale operatorie. - Nella nostra indagine sono state prese in esame sei sale operatorie, appartenenti a tre diversi ospedali.

L'ospedale A è dotato di un sistema di ventilazione di vecchio tipo, che non assicura un efficiente rimescolamento dell'aria e che viene attivato solo durante i mesi estivi. Durante le misure relative alla sala n. 3, effettuate in settembre, non si beneficiava quindi di alcun ricambio d'aria tranne quello dovuto all'apertura occasionale delle porte di comunicazione. Gli ospedali B e C sono invece muniti di moderni sistemi di ventilazione che consentono un omogeneo rimescolamento durante il ricambio

dell'aria. Tali impianti funzionano immettendo aria esterna purificata mediante filtrazione; l'aspirazione ha una portata inferiore a quella di immissione, in modo da creare nell'ambiente condizioni di sovrappressione. Nelle prime quattro sale lo scarico dei gas anestetici avviene nell'ambiente interno, mentre nelle ultime due i gas emessi vengono convogliati all'esterno mediante un tubo flessibile mantenuto sotto leggera aspirazione. Le caratteristiche tecniche delle sale prese in esame sono riassunte nella Tab. 1.

Apparecchiature. — Per le misure in continuo dei vapori di anestetici è stato utilizzato uno spettrofotometro IR portatile (MIRAN 1A Foxboro Analytical Division) a raggio singolo e a lunghezza d'onda variabile, con continuità da 2,5 a 14,5 μ , e cammino ottico variabile da 0,75 a 20,25 m.

Per il protossido d'azoto è stata prescelta la lunghezza d'onda di 4,5 μ , che assicura il minimo di interferenze da parte degli altri composti presenti nell'ambiente ed il massimo di sensibilità ($> 0,07$ ppm). Per il fluotano e l'etranano sono state utilizzate le lunghezze d'onda di 12,3 μ e 8,7 μ rispettivamente, prescelte non in funzione della massima sensibilità, ma per minimizzare le interferenze dovute al protossido d'azoto, che è l'inquinante presente in concentrazione maggiore. I limiti di sensibilità per il fluotano e l'etranano sono, nelle condizioni sperimentali adottate, rispettivamente 0,08 e 0,01 ppm, valori abbondantemente inferiori alle concentrazioni riscontrate durante le misure.

Per la valutazione dei composti alogenati, sono stati utilizzati anche campionatori personali sia "attivi" che "passivi", che sfruttano il principio dell'adsorbimento delle specie organiche presenti nell'aria su di un supporto solido. I primi sono costituiti da un tubicino di vetro contenente 150 mg di carbone attivo (SKC Inc. Corporation PA, USA), attraverso il quale viene fatto passare, mediante una micropompa, un flusso costante di aria; nei campionatori "passivi" (Gas Badge, Abcor Dev. Corp. Wilmington, MA, USA), invece, le specie organiche vengono in contatto mediante un meccanismo di diffusione molecolare con una striscia dello stesso materiale. Il primo sistema, a causa della più elevata velocità di campionamento (120 ml/min), consente una maggiore sensibilità di analisi, mentre il secondo, che ha un flusso equivalente di circa 37 ml/min, risulta più adatto a indagini di vaste proporzioni grazie al suo minore ingombro, minore costo e più facile impiego.

Il desorbimento delle specie campionate viene effettuato in entrambi i casi per estrazione a freddo con solfuro di carbonio; gli estratti vengono poi sottoposti ad analisi gascromatografica. Per l'analisi è stato utilizzato un gascromatografo DANI mod. 3600, con rivelatore a ionizzazione di fiamma, equipaggiato con una colonna in vetro 3 m x 2 mm i.d., riempita con Carbopack C ricoperto con lo 0,38% di SP 1000. L'analisi viene effettuata in condizioni isoterme alla temperatura di 100°C.

I parametri microclimatici sono stati misurati in continuo con una apparecchiatura automatica (LSI-Milano) munita di globotermometro, sonda a filo caldo e psicro-

metro. I dati rilevati dai vari sensori vengono registrati, ad intervalli di tempo prestabiliti dall'operatore, da un elaboratore che fornisce i seguenti parametri: velocità dell'aria, WBGT (indice di temperatura del bulbo umido e del globotermometro), valori per il calcolo dell'umidità relativa e della TEC (temperatura effettiva corretta).

Procedimento operativo. — Ogni sala è stata esaminata per l'intero arco di una giornata lavorativa (in media 5-6 ore continuative) fino al termine dell'ultimo intervento operatorio. Sono stati misurati i parametri microclimatici e, con differenti metodiche descritte, le concentrazioni di gas anestetici presenti nell'ambiente. Durante i periodi esaminati, sono state condotte anestesie utilizzando miscele contenenti il 60% di N₂O ed il 40% di O₂ con erogazione di etranano all'1-2% o di fluotano allo 0,5-1%. La concentrazione degli anestetici è stata misurata in continuo, per spettrofotometria IR, sia nell'ambiente (centro stanza) che a livello della bocca dell'anestesista, in entrambi i casi a 1,20 m dal pavimento. Inoltre, per avere una esatta valutazione dell'effettiva esposizione individuale sono stati posti indosso all'anestesista i due tipi di campionatore personale. Infatti, mentre la sonda di prelievo dello spettrofotometro IR rimane sempre posizionata presso l'apparecchio di anestesia, il campionatore personale tiene conto anche dei periodi in cui l'anestesista si allontana dalla macchina di anestesia, durante i quali l'esposizione è minore o nulla. D'altra parte, poiché questi dispositivi forniscono un responso medio relativo all'intero periodo di misura, non è possibile ottenere indicazioni sulle fluttuazioni della concentrazione e quindi sui valori di punta. La stazione di rilevamento del microclima è stata posta a circa due metri dai tavoli operatori, in una zona poco influenzata dalle perturbazioni occasionali.

Risultati e discussione

In Tab. 2 sono riportate, per ogni sala esaminata, la concentrazione media di N₂O misurata nell'ambiente (a 2-3 m dal tavolo operatorio), quella misurata a livello della bocca dell'anestesista ed il valore di punta raggiunto durante l'effettuazione delle misure. Tutte le concentrazioni sono state misurate per spettrofotometria IR; i valori medi sono stati ricavati mediando, minuto per minuto, il relativo tracciato. Analoghi dati relativi agli anestetici alogenati, ottenuti con i tre metodi di misura descritti, sono riportati in Tab. 3. Nei casi in cui l'anestesista è rimasto sempre nei pressi dell'apparecchio erogatore, i valori medi di concentrazione ottenuti mediante spettrofotometria IR risultano sostanzialmente coincidenti con quelli ottenuti mediante campionatori personali (ad es. nella sala n. 2), mentre nei casi in cui l'anestesista ha avuto necessità di spostarsi frequentemente da tale posizione questi ultimi risultano inferiori (ad es. nella sala n.1).

I dati microclimatici sono riportati, come valori medi relativi all'intero periodo di misura, in Tab. 4. Gli indici termometrici riportati, WBGT e TEC, tengono conto,

Tabella 1. — *Caratteristiche tecniche delle sale operatorie*

Ospedale e sala	Reparto	n° letti	Cubatura (m ³)	Ricambio aria (volumi/ora)	Scarico gas anestetici	Osservazioni
Sala 1 Ospedale A	Chir. Gen.	1	170	16,6	interno sala	
Sala 2 Ospedale A	Chir. Gen.	1	110	16,6	interno sala	
Sala 3 Ospedale A	Chir. Gen.	2	226	nessuno	interno sala	Impianto di aspirazione non funzionante
Sala 4 Ospedale B	Chir. Toracica	1	84	23	interno sala	
Sala 5 Ospedale C	Chir. Gen. pediatrica	2	151	6	esterno sala con aspirazione	Sistema di espulsione gas realizzato su impianto preesistente
Sala 6 Ospedale C	Cardiochirurgia pediatrica	1	83	36	esterno sala con aspirazione	Sistema di espulsione gas realizzato <i>ex novo</i>

Tabella 2. — *Concentrazioni (ppm) di N₂O misurate mediante spettrofotometria IR*

Sala	Conc. ambientale (media)	Conc. anestesista (media)	Conc. massima	Tempo di misura (minuti)
1	508	900	1400	134
2	395	560	1850	123
3	948	1130	1550	106
4	67	742	1950	162
5	67	120	300	129
6	13	27	230	105

complessivamente, della temperatura ambiente, dell'umidità relativa, del calore radiante e della ventilazione, tutti fattori che influiscono sui processi di termoregolazione corporea. Per poter valutare in quale misura l'esposizione del personale ad agenti chimici o fisici sia compatibile con il mantenimento dello stato di salute, è necessario fare riferimento ai TLV-TWA (Threshold Limit Values—Time Weighted Average), che indicano il valore medio di concentrazione cui un lavoratore può essere esposto per 8 ore lavorative al giorno senza che ne consegua alcun danno fisico, ed ai TLV-STEL (Threshold Limit Values—

Short Term Exposure Limit), che indicano il valore massimo di concentrazione che non dev'essere in alcun caso superato. In Tab. 5 sono riportati i limiti NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health)[16] per il protossido di azoto, l'eterno ed il fluotano. Analoghi limiti sono riportati nella stessa tabella per gli indici microclimatici. In Tab. 6 sono inoltre riportati i valori dei parametri microclimatici che delimitano le cosiddette "fasce di benessere", all'interno delle quali oltre allo stato di buona salute è previsto anche lo stato di benessere per una percentuale molto elevata di soggetti.

Tabella 3. — Concentrazioni (ppm) di gas anestetici alogenati misurati mediante spettrofotometria IR e mediante arricchimento su adsorbitori di carbone attivo

Sala	Alogenato	Metodo di misura	Conc. Amb. (media)	Conc. Anest. (media)	Conc. Max.	Tempo di misura (minuti)
1	Etrano	Spettrof. IR	5,8	9	23	61
		Campion. attivi	/	3,6	/	300
		Campion. passivi	/	3,8	/	300
2	Etrano	Spettrof. IR	7	10,4	17	86
		Campion. attivi	/	10,6	/	300
		Campion. passivi	/	10,2	/	300
3	Etrano	Spettrof. IR	12,6	13,5	30	40
		Campion. attivi	/	10,4	/	280
		Campion. passivi	/	11,2	/	280
4	Etrano	Spettrof. IR	1,5	10,6	35	88
		Campion. attivi	/	6,7	/	310
		Campion. passivi	0,2	7,2	/	310
5	Fluotano	Spettrof. IR	1,4	4,4	20	73
		Campion. attivi	/	4,3	/	250
		Campion. passivi	0,8	4,8	/	250
6	Fluotano	Spettrof. IR	0,6	0,6	2	38
		Campion. attivi	/	0,3	/	180
		Campion. passivi	/	0,3	/	180

Tabella 4. — Dati microclimatici

Sala	WBGT (° C)	Temp. Amb. (° C)	TEC (° C)	Umid. Relat. (%)	Veloc. aria (cm/s)	Tempo di misura (minuti)
1	20,5	24,4	21,7	54	12	372
2	20,0	23,9	21,5	53	11	305
3	22,9	26,7	23,8	58	10	320
4	19,7	23,5	21,2	55	12	440
5	20,3	24,6	21,9	50	15	280
6	19,6	26,8	22,1	31	10	180

Dal confronto delle tabelle 2 e 3 con la Tab. 5 risulta nelle sale operatorie in cui non viene attuato nessun sistema di bonifica dell'ambiente (sala n. 3) si vengono a creare condizioni di inquinamento assai elevato, che riguarda tutto il personale operante nella sala (40 volte con punte fino a 60 volte il TLV per il protoossido di azo-

to e 7 volte con punte fino a 30 volte il TLV per l'etranolo). Nel caso in cui un impianto di ventilazione assicuri un certo ricambio dell'aria (sale n. 1 e 2), si ha una diminuzione della concentrazione ambientale di gas anestetici; tale diminuzione si fa più sensibile nel caso in cui l'impianto di ventilazione assicuri un omogeneo rimesco-

Tabella 5. — Limiti di esposizione consigliati

Specie Chimica	TLV - TWA	TLV - STEL (calcolato)
N ₂ O	25 ppm	37,5 ppm
Etrano	2 ppm	4 ppm
Fluotano	2 ppm	4 ppm

	Lav. leggero	Lav. medio	Lav. pesante
TEC	30 °C	28 °C	26 °C
WBGT 100% lavoro	30 °C	26,7 °C	25 °C
WBGT 75% lavoro	30,6 °C	28,0 °C	25,9 °C
WBGT 50% lavoro	31,4 °C	29,4 °C	27,9 °C
WBGT 25% lavoro	32,3 °C	31,1 °C	30,0 °C

lamento dell'aria e un elevato numero di ricambi/ora (sala n. 4). Di questo sistema di bonifica beneficia in misura molto minore il medico anestesista, la cui postazione di lavoro è attigua alla fonte di inquinamento; la concentra-

Tabella 6. — Fasce di benessere (*)

Velocità dell'aria	< 40 cm/s
Umidità relativa	20 ÷ 70
TEC (estate)	19,5 ÷ 22,5 °C
TEC (inverno)	18,5 ÷ 21,5 °C

(*) raccomandazione Organizzazione Mondiale della Sanità (n.412).

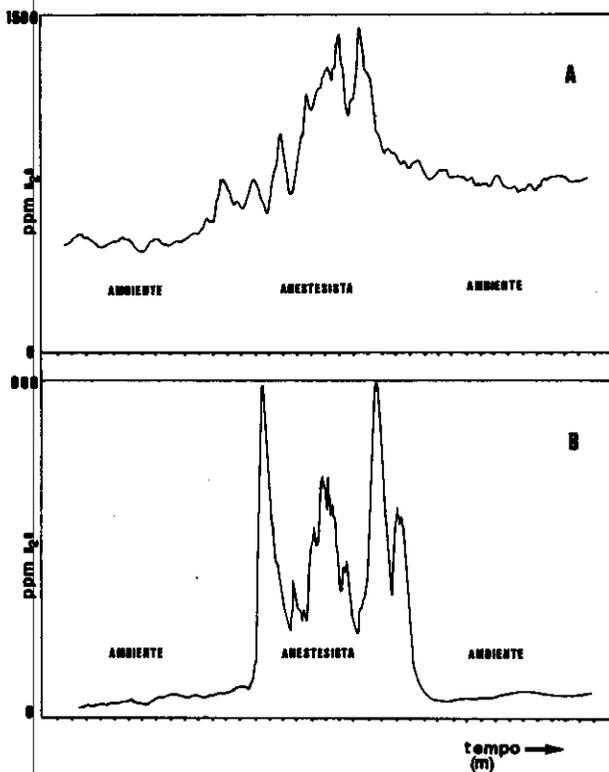


Fig. 1 — Tipico tracciato della misura in continuo di gas anestetici per spettrometria IR ottenuto posizionando la sonda di prelievo alternativamente nell'ambiente e a livello della bocca dell'anestesista. A: sala operatoria n. 3; B sala operatoria n.4

zione di protossido di azoto nei pressi dell'apparecchio erogatore si mantiene infatti anche nella sala n. 4 a circa 30 volte il TLV. In Fig. 1 sono mostrati a titolo di esempio due tracciati ottenuti dalla misura in continuo del protossido di azoto in una sala senza ricambi d'aria (A) e in una fornita di sistema di ventilazione (B); in entrambi i casi lo scarico degli anestetici avviene direttamente nell'ambiente. Si nota come le concentrazioni misurate a livello dell'anestesista siano poco influenzate dal sistema di bonifica, mentre quelle ambientali risultano sensibilmente inferiori nel caso B.

Come è stato osservato in recenti indagini [8, 17] un sistema di bonifica molto più efficace è invece costituito dal convogliamento dei gas aspirati all'esterno della sala, mediante un tubo mantenuto sotto leggera aspirazione. Nella sala n. 5 infatti, benché il sistema di ventilazione assicuri un basso numero di ricambi/ora, l'espulsione all'esterno dei gas anestetici permette un consisten-

te decremento della concentrazione anche a livello dell'anestesista. Anche in questo caso, comunque, il TLV viene ampiamente superato, soprattutto per quello che riguarda il protossido di azoto. Solo quando al sistema di espulsione dei gas viene associato un efficiente impianto di ventilazione (sala n. 6), l'inquinamento viene contenuto al di sotto o intorno ai limiti di rischio. Come risulta dalla Tab. 2, però, anche in questo caso si possono raggiungere valori di punta elevati. Infatti l'uso della maschera durante l'induzione dell'anestesia provoca necessariamente una dispersione del gas anestetico nell'atmosfera, il che comporta, soprattutto localmente, un temporaneo aumento della concentrazione.

Dal confronto dei dati microclimatici (Tab. 6) con i limiti consigliati, risulta che in tutte le sale ci si trova ampiamente al di sotto dei TLV, a maggior ragione se si considera che il lavoro effettuato dal personale di sala operatoria rientra nella categoria del lavoro leggero (fino a 200 kcal/ora).

Dal confronto con la Tab. 6 si deduce inoltre che, per quanto riguarda l'indice di TEC, ci si trova leggermente al di fuori delle fasce di benessere (le misure sono state effettuate nel periodo settembre - ottobre). Ciò indica

che, in special modo quando manca l'impianto di ventilazione, i lavoratori possono avvertire un senso di disagio, ovvero di *strain* termico.

Conclusioni

Dall'esame complessivo dei dati ottenuti risulta che, qualora non si adottino sistemi a tenuta di espulsione degli anestetici, nelle sale operatorie si verificano condizioni di inquinamento ambientale assai elevato. Tale problema riguarda in maggior misura il personale anestesista nei casi in cui vi sia un sufficiente ricambio d'aria, mentre riguarda tutto il personale operante nella sala quando il ricambio d'aria è scarso o inesistente. Poiché le concentrazioni risultano molto al di sopra dei limiti consigliati, si configura la concreta possibilità di un danno per la salute del personale di sala operatoria. E' stato inoltre ulteriormente verificato che l'uso di dosimetri personali permette una maggiore accuratezza nella determinazione dell'esposizione dei singoli operatori, in relazione alle loro specifiche mansioni.

Ricevuto il 25 maggio 1983.

Accettato il 22 giugno 1983.

BIBLIOGRAFIA

1. VAISMAN, A. I. 1967. Working conditions in surgery and their effects on the health of anaesthesiologists. *Eksp. Khir. Anestheziol.* 3: 44-49.
2. WHITCHER, C. E., COHEN, E. N. & TRUDELL, J. R. 1971. Chronic exposure to anaesthetic gases in the operating room. *Anaesthesiology* 35: 348-353.
3. DESBAUMES, E., DUCEL, G., INHOFF, C. & ROUGE, J. C. 1975. Danger de l'exposition chronique à l'halothane pour le personnel d'un bloc opératoire. *Ann. Anaesthesiol. Fr.* 16: 437-441.
4. FERSTANDING, L. L. 1978. Trace concentrations of anaesthetic gases: a critical review of their disease potential. *Anesth. Analg.* 57: 328-342.
5. AMERICAN SOCIETY OF ANAESTHESIOLOGISTS (ASA). 1974. *Ad hoc* committee occupational disease among operating room personnel. *Anaesthesiology* 41: 321-340.
6. CHANG, L. W. & KATZ, J. 1976. Pathologic effects of chronic halothane inhalation: an overview. *Anesthesiology* 45: 640-645.
7. COHEN, E. N. 1978. Toxicity of inhalation anesthetic agents. *Br. J. Anaesth.* 50: 665-668.
8. MESSINEO, A., PACELLI, E., CARLESI, G. & MELINO, C. 1978. Il rischio da anestetici gassosi in una sala operatoria: metodi di controllo del personale e interventi di prevenzione. *Atti del 41° Congresso della Società Italiana Medicina del Lavoro e Igiene Industriale*. S. Margherita Ligure, 4-7 ottobre 1978.
9. SCHULZE, H. H. & KASTNER, D. 1973. Current problems and comments on the question of chronic liver damage due to halothane in anaesthesia personnel. *Anaesthetist* 22: 47-51.
10. CORBETT, T. H., CORNELL, R. G., ENDRES, J. L. & LIEDING, K. 1974. Birth defects among children of nurse-anesthetists. *Anaesthesiology* 41: 341-344.

11. DE MEDICI, M. 1979. Patologia professionale: indagine clinico anamnestica in un gruppo di anestesisti romani. *Anest. Rianim.* 20: 181-197.
12. ROSCI, M. A. Ente Ospedaliero Monteverde, Ospedale L. Spallanzani. Comunicazione personale.
13. BERLINCIONI, M. 1977. Inquinamento di sale operatorie da residui di 2-bromo-2-cloro-1,1,1-trifluoroetano, usato come anestetico: rilevamento e dosaggio. *Boll. Lab. Chim. Prov.* 1 : 25 - 30.
14. CATTANEO, A. D., FERRAILOLO, G., ROVATTI, M., ZATTONI, J. & ISOLA, G. 1979. Inquinamento delle sale operatorie con gas e vapori anestetici. Metodo analitico. *Min. Anest.* 45 : 739 - 744.
15. CATTANEO, A. D., FERRAILOLO, G., ROVATTI, M., ZATTONI, J. & DONATO, A. 1981. Inquinamento delle sale operatorie con gas e vapori anestetici. Analisi gascromatografica del protossido di azoto. *Min. Anest.* 47 : 827 - 830.
16. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). 1977. *Criteria for a recommended standard. Occupational exposure to waste anaesthetic gases and vapours.* US Government Printing Office, Washington, D.C. DHEW publication n. 77: 140-148.
17. MINISCI, S. & RICCI, E. 1982. Inquinamento da gas anestetici nelle sale operatorie. *Med. Lav.* 3: 187-197.