

SESSIONE IV

INDAGINI IGIENICO-AMBIENTALI: AGENTI FISICI

Criterio di misura della rumorosità nell'industria metalmeccanica per la valutazione del rischio

A. CASTAGNOLI

con la collaborazione tecnica di G. VENDRAMIN

Istituto di Medicina del Lavoro dell'Università Cattolica del S. Cuore, Roma

INTRODUZIONE

Scopo della presente relazione è quello di presentare un criterio di misura della rumorosità nell'industria metalmeccanica per valutare il rischio di un danno all'udito degli addetti e di commentare i risultati ottenuti in base ai limiti proposti dagli Igienisti Industriali Americani.

Se si prende in considerazione l'intero stabilimento in base ai valori riscontrati in corrispondenza degli addetti alle diverse lavorazioni non si può avere un'idea di quella che può essere l'esposizione al rumore dei singoli addetti in una settimana lavorativa. Si possono solo trarre conclusioni sulle singole lavorazioni e mettere in evidenza i reparti e le zone maggiormente rumorose, su cui concentrare l'attenzione.

Per poter viceversa stabilire la presenza o meno di un rischio di un danno all'udito si devono prendere in esame i vari reparti separatamente. È necessario perciò suddividere l'intero stabilimento in diversi ambienti di lavoro, raggruppando i lavoratori in gruppi omogenei, che possono spostarsi alternandosi alle varie macchine e alle diverse lavorazioni soltanto in una ben definita area dello stabilimento. Con le misure di rumorosità in un determinato ambiente si deve cercare di stabilire in base ai valori ottenuti la esposizione media al rumore per tutto il gruppo omogeneo di lavoratori.

PARTE SPERIMENTALE

Criterio di misura

Dato il carattere non stazionario del rumore, per poter eseguire delle misure precise è necessario effettuare delle registrazioni di rumorosità sufficientemente rappresentative dell'esposizione giornaliera o settimanale e calcolare il relativo livello sonoro continuo equivalente in dB(A), in modo da caratterizzare con un unico valore l'esposizione al rumore [1].

Nell'industria metalmeccanica al tempo effettivo di lavorazione vera e propria su una macchina o su un materiale seguono dei tempi morti, per attrezzare per esempio una macchina o per trasportare dei materiali. L'esposizione al rumore degli addetti si può caratterizzare in maniera semplice durante la lavorazione vera e propria e con maggiore difficoltà durante i tempi morti.

Per non effettuare registrazioni troppo lunghe in corrispondenza degli addetti è però consigliabile considerare separatamente le diverse fasi lavorative con registrazioni sufficientemente rappresentative, prendendo nota dei tempi effettivi delle varie fasi. In base ai dati ottenuti si potrà così successivamente calcolare il livello sonoro continuo equivalente complessivo della intera lavorazione [1].

Durante i tempi morti gli addetti si possono spostare in ogni posizione del reparto considerato e sono perciò esposti al rumore proveniente dalle lavorazioni contigue. Per poter controllare nel modo migliore l'esposizione degli addetti in questa situazione abbiamo fissato, nei rilievi da noi eseguiti, tra le macchine o in corridoio a seconda dell'ambiente esaminato, diverse posizioni possibilmente a distanza di almeno 5 m dalle sorgenti di rumore, dove sono stati effettuati dei controlli in alcuni casi anche per tutto il turno lavorativo.

Per caratterizzare l'esposizione durante i tempi morti con un unico valore sufficientemente rappresentativo, si è calcolato quindi il valore medio [2] del livello sonoro continuo equivalente relativo a tutte le posizioni fissate che si possono definire di centro ambiente.

Risultati ottenuti e loro estrapolazione per la valutazione

Per chiarire meglio quanto esposto facciamo riferimento ai risultati da noi ottenuti in due diversi stabilimenti metalmeccanici e precisamente in un ambiente di caldareria, e in un reparto presse, le cui piante sono riportate rispettivamente nelle Fig. 1 e 2. Le posizioni di centro ambiente sono indicate nelle piante con un triangolo o con un numero.

I valori del livello sonoro continuo equivalenti riscontrati in queste posizioni ed il valore medio relativo a tutte le posizioni di centro ambiente sono riportati nelle Tab. 1 e 2 rispettivamente per l'ambiente di caldareria e per il reparto presse.

Da queste misure si possono trarre conclusioni definitive. È ovvio infatti che sussistono condizioni di rischio di un danno all'udito per tutti gli addetti sia del reparto presse che dell'ambiente di carpenteria, in quanto rispettivamente o sono superati abbondantemente (91 dB(A)) i valori massimi ammissibili per una esposizione di 8 ore giornaliere o si è già al limite (85 dB(A)) per effetto delle lavorazioni contigue, senza tener conto delle lavorazioni rumorose che gli addetti stessi devono eseguire.

ZONA CARPENTERIA

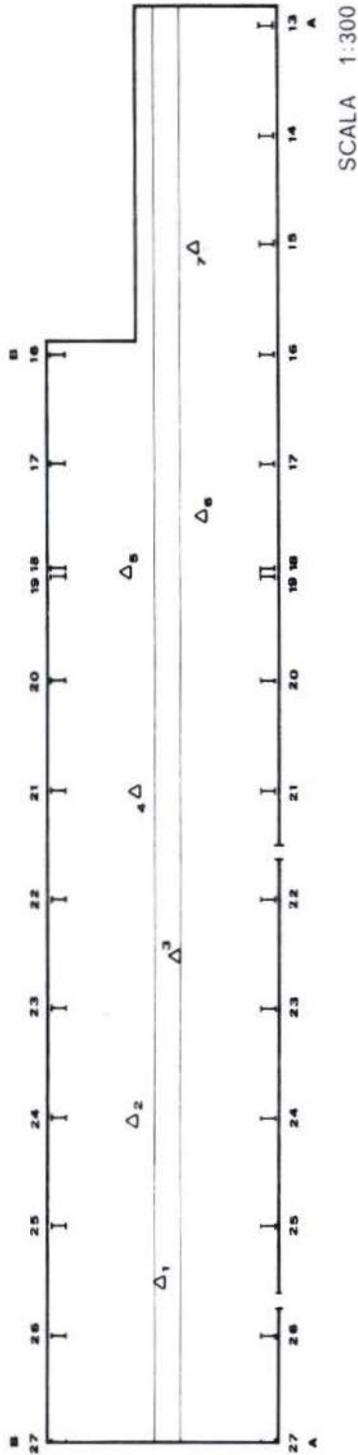


Fig. 1. — Pianta dell'ambiente di caldareria. Le posizioni di centro ambiente sono indicate con un numero a fianco di un triangolo.

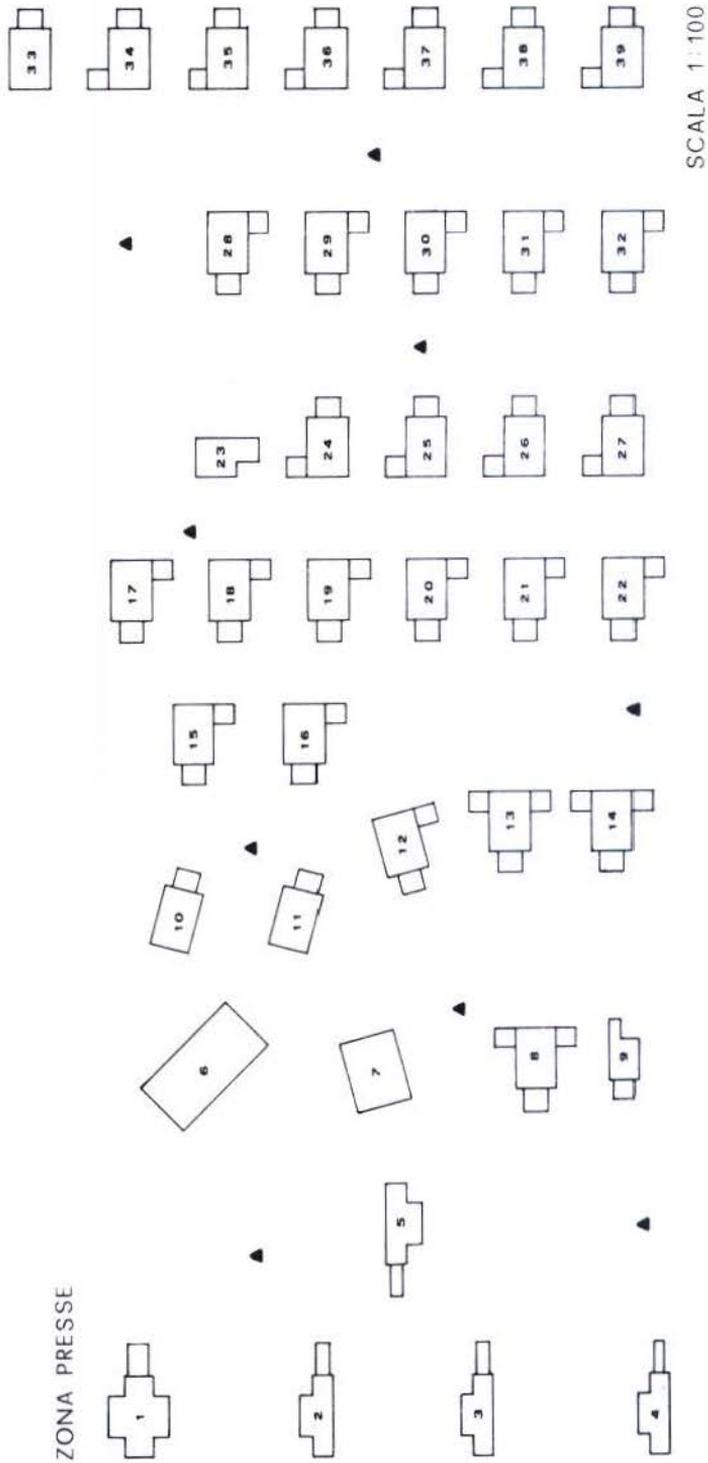


Fig. 2. — Pianta del reparto presse. Le posizioni di centro ambiente sono indicate con un triangolo nero.

TABELLA 1

Livelli sonori continui equivalenti in dB (A) riscontrati nelle posizioni di centro ambiente e relativo valore medio nell'ambiente di caldareria.

POSIZIONE DELLA MISURA	Livello sonoro continuo equivalente in dB(A)	Livello sonoro medio complessivo in dB(A)
<i>Centro ambiente:</i>		
Nella posizione 1	84	} 85
Nella posizione 2	85	
Nella posizione 3	86	
Nella posizione 4	86	
Nella posizione 5	84	
Nella posizione 6	86	
Nella posizione 7	85	

TABELLA 2

Livelli sonori continui equivalenti in dB (A) riscontrati nelle posizioni di centro ambiente e relativo valore medio nel reparto presse

POSIZIONE DELLA MISURA	Livello sonoro continuo equivalente in dB(A)	Livello sonoro medio complessivo in dB(A)
<i>Centro ambiente:</i>		
Tra le presse 1-2-5-6-7	93	} 91
Tra le presse 4-9	93	
Tra le presse 7-8	92	
Tra le presse 10-11-15-16	91	
Tra le presse 14-22	90	
Tra le presse 17-18-23	90	
Tra le presse 25-30	89	
A 2 metri dalla pressa 28	87	
Tra le presse 29-30-36-37	89	

Nella Tab. 3 sono riportate le misure effettuate in corrispondenza degli addetti nel reparto presse.

Mediante estrapolazione dei risultati ottenuti si possono calcolare con una certa approssimazione i livelli medi di rumorosità a cui sono esposti gli addetti del reparto durante la lavorazione vera e propria.

TABELLA 3

Livelli sonori continui equivalenti in dB(A) riscontrati in corrispondenza degli addetti alle presse e valore medio complessivo nel reparto presse

POSIZIONE DELLA MISURA	Livello sonoro continuo equivalente in dB(A)	Livello sonoro medio complessivo in dB(A)
<i>In corrispondenza degli addetti:</i>		
alla pressa 1	95	} 92
alla pressa 2	93	
alla pressa 3	92	
alla pressa 4	92	
alla pressa 5	90	
alla pressa 6	94	
alla pressa 7	94	
alla pressa 9	93	
alla pressa 12	92	
alla pressa 13	91	
alla pressa 18	94	
alla pressa 25	90	
alla pressa 26	93	
alla pressa 29	89	
alla pressa 31	88	
alla pressa 35	90	
alla pressa 39	91	

Supponendo che gli addetti si alternino regolarmente su tutte le presse l'esposizione di tutti gli addetti del reparto può essere caratterizzata durante la lavorazione effettiva con il valore medio dei livelli sonori continui equivalenti riscontrati su ogni pressa che risulta pari a 92 dB(A). Questo valore coincide in pratica con il livello a cui sono esposti gli addetti del reparto,

perché nelle posizioni di centro ambiente si è riscontrato un valore del livello sonoro inferiore di un solo dB(A).

Il tempo necessario per la misura onde arrivare allo stesso risultato nell'ambiente di carpenteria è molto maggiore, in quanto si devono prendere in esame tutte le lavorazioni, che possono variare anche da un giorno all'altro. Per questo motivo per avere un dato sufficientemente attendibile è necessario effettuare dei controlli periodici e ogni volta che varia la produzione in funzione delle commesse. Tenendo comunque presente le bolle di lavorazione si può determinare il livello sonoro continuo equivalente in dB(A), a cui sono esposti gli addetti durante le lavorazioni.

TABELLA 4

Livelli sonori continui equivalenti in dB(A) riscontrati in corrispondenza degli addetti a due lavorazioni a riferiti al tempo della bolla di lavorazione nell'ambiente di carpenteria

POSIZIONE DELLA MISURA	Livello sonoro continuo equivalente in dB(A)	Tempo di esposizione effettiva in minuti	Livello sonoro continuo equivalente in dB(A) relativo al tempo bolla
<i>In corrispondenza dell'addetto</i>			
alla ripresa di mola esterna su una virola in acciaio al carbonio di 3000 mm di lunghezza e 16 mm di spessore	109	150	101
<i>In corrispondenza dell'addetto</i>			
alla lavorazione di giunzione del fondo alla virola su un contenitore in acciaio al carbonio di 16 mm di spessore con Ø interno di 1220 mm:			
- durante la saldatura circolare Tig	83	120	} 90
- durante la 1ª passata di saldatura	88	60	
- durante la 1ª passata di scalpellatura	107	25	
- durante la molatura della 1ª passata di saldatura	103	5	
- durante la 2ª passata di saldatura	87	60	
- durante la 2ª passata di scalpellatura	105	15	
- durante la lavorazione complessiva	95	285	

Nella Tab. 4 sono riportati, a titolo di esempio, due lavorazioni con i valori del livello sonoro continuo equivalente in dB(A) relativi alla lavorazione e alle fasi lavorative, i relativi tempi di esposizione effettiva ed il valore del livello sonoro continuo equivalente riferito al tempo della bolla.

Per l'addetto alla ripresa di mola su una viola il calcolo è abbastanza semplice, in quanto è sufficiente supporre che l'addetto sia esposto durante i tempi morti alla rumorosità riscontrata nelle posizioni di centro ambiente (85 dB(A)). Il livello sonoro continuo equivalente a cui è esposto l'addetto, calcolato in base al numero di viole che vengono molate (10 ogni giorno) e alla durata della lavorazione effettiva su ogni viola (15 min), è risultato pertanto pari a 101 dB(A).

In maniera analoga si procede per l'addetto alla lavorazione di giunzione del fondo alla viola su un contenitore (tempo di bolla 14 ore), dopo aver calcolato il livello sonoro continuo equivalente complessivo della lavorazione in base ai tempi effettivi di esposizione e ai livelli sonori continui equivalenti di ciascuna fase lavorativa.

Dopo aver considerato tutte le lavorazioni dell'ambiente alla stessa maniera, si può caratterizzare approssimativamente, l'esposizione di tutto il gruppo omogeneo con un unico valore, che è pari alla media dei livelli sonori continui equivalenti, a cui sono esposti i singoli addetti alle lavorazioni esaminate.

CONCLUSIONI

Il criterio di misura della rumorosità proposto consente nel minor tempo possibile di valutare globalmente l'esposizione al rumore di tutti gli addetti di un reparto.

Le misure effettuate in questa maniera rispetto a quelle eseguite con dei dosimetri individuali, oltre al vantaggio di una maggiore precisione, danno un'idea immediata sugli eventuali interventi correttivi da apportare all'ambiente o sulle macchine per ridurre la rumorosità.

Riassunto. — Viene proposto un criterio di misura della rumorosità, che permette di valutare il rischio di un danno all'udito per tutti gli addetti di un reparto.

Per estrapolare i valori ottenuti in corrispondenza degli addetti alle lavorazioni vere e proprie e caratterizzare l'esposizione con un unico valore viene indicato un metodo di misura, che permette di calcolare il valore medio del livello sonoro continuo equivalente in dB(A) a cui sono in pratica esposti gli addetti durante i tempi morti, cioè i tempi necessari per attrezzare una

macchina e trasportare i materiali. Vengono quindi commentati i risultati ottenuti secondo questo criterio in diversi stabilimenti metalmeccanici e precisamente in un ambiente di caldareria e in un reparto presse.

Summary (*Noise control criterion to evaluate the risk in mechanical industry*). — In this study is proposed a noise control criterion for evaluating the risk of hearing damage in each worker of a department in mechanical industry.

A measure method has been reported for extrapolating the results obtained during the work and for characterizing the noise exposure with a single value. Using this method it is possible to determine the mean equivalent continuous sound level during the machine preparation or the transport of materials.

The results obtained in two mechanical workshops are discussed.

BIBLIOGRAFIA

1. CASTAGNOLI, A. & CECCHETTI, G. 1977. Il rumore in fonderia - misura e valutazione. *Ann. Ist. Super. Sanità*. **13**: 13-26.
2. SCHIRMER, W. 1974. *Lärmmesstechnik*, Verlag Tribüne, Berlin.

Confronto tra l'indice PMV (predicted mean vote) di Fanger e la valutazione soggettiva del microclima in lavoratori di industrie tessili

G. FABRI, O. MASCI e B. SPERDUTO

Istituto di Medicina del Lavoro, Università Cattolica del S. Cuore, Roma

Premettiamo che siamo costretti per motivi di spazio ad esporre in sintesi la comunicazione letta al III Congresso Nazionale di Igiene Industriale, che sarà pubblicata per esteso successivamente.

In questa indagine siamo partiti dal presupposto che, qualora nel valutare il microclima degli ambienti industriali non ci si voglia limitare ad escludere il rischio di *stress* termico, ma ci si voglia invece riferire alla condizione di « benessere termico » definito, in accordo con gli ASHRAE Standard [1], come « quella condizione della mente che esprime soddisfazione per l'ambiente termico », l'indice più adatto sembra essere il PMV (predicted mean vote) di Fanger, alle cui pubblicazioni si rimanda per una trattazione estesa ed esauriente dell'indice stesso [2-5].

Esso ha il vantaggio, rispetto agli altri indici più comunemente impiegati, di essere stato calcolato esplicitamente per le condizioni di *comfort* e di essere correlato alle sensazioni termiche soggettive. È stato ottenuto sottoponendo in condizioni sperimentali a circa 1400 soggetti la scala psico-fisica della ASHRAE in sette punti: -3 molto freddo, -2 freddo, -1 leggermente freddo, 0 neutralità, + 1 leggermente caldo, +2 caldo, +3 molto caldo; e si esprime pertanto come « voto medio predetto » compreso tra + 3 e - 3.

Scopo della ricerca è stata la verifica di una effettiva corrispondenza tra l'indice PMV e la valutazione soggettiva del microclima nelle condizioni di lavoro dell'industria.

Un primo ostacolo nell'applicazione di questo indice sembrerebbe essere la complessità dell'espressione matematica, che, invece, ricorrendo ad alcuni accorgimenti, può essere calcolata con l'ausilio di un calcolatore programmabile tascabile.

I nostri dati si riferiscono a quattro industrie tessili (due di filatura e due di confezioni); tutte erano fornite di impianti di condizionamento che funzionavano regolarmente nel periodo delle indagini.

Per valutare il livello metabolico ci siamo basati sulle diverse tabelle disponibili, calcolate dai vari AA. [6-9].

È inevitabile una certa approssimazione: abbiamo considerato il lavoro nelle industrie tessili essenzialmente di tipo leggero e distinto due livelli metabolici: al primo abbiamo dato il valore di $80 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$, al secondo $100 \text{ Kcal/m}^2 \cdot \text{h}$. Analogamente per il vestiario ci siamo basati sulle tabelle pubblicate [4].

Per valutare la soggettività abbiamo sottoposto singolarmente ad ogni lavoratore, mediante interviste effettuate sul posto di lavoro contemporanea-

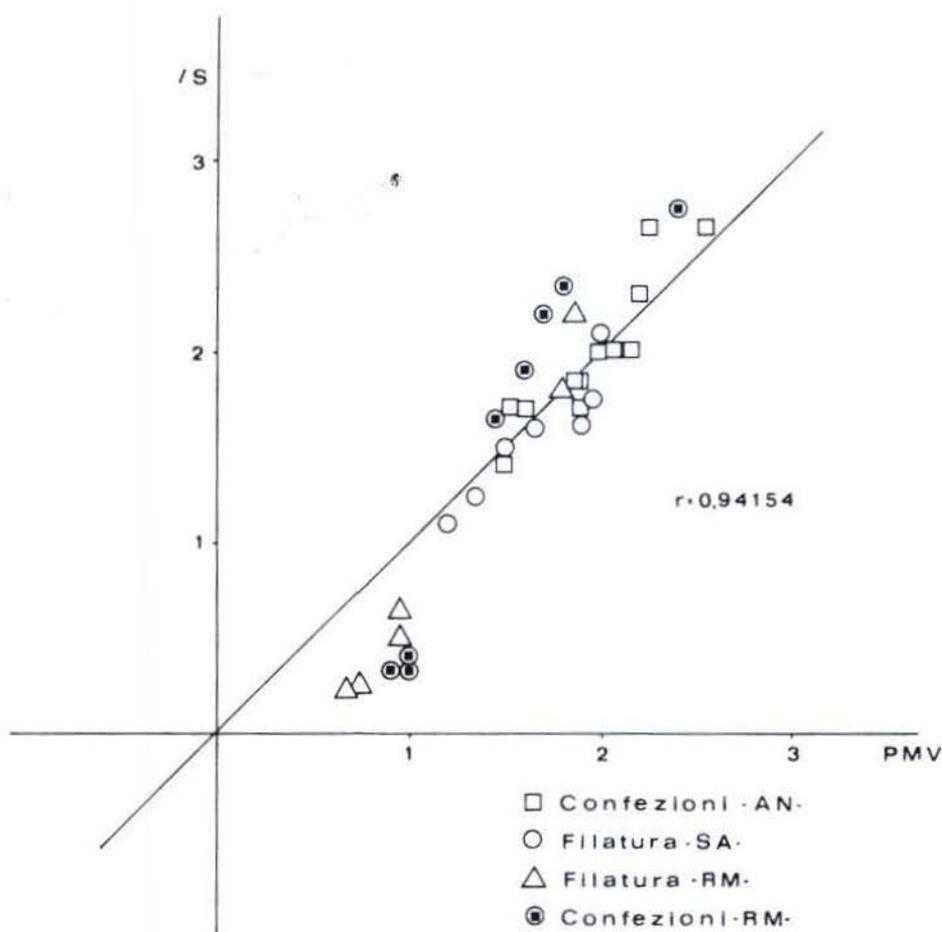


Fig. 1. — Grafico dei risultati delle interviste nelle quattro fabbriche esaminate.

mente ai rilievi ambientali, un questionario sulle caratteristiche psico-fisiche del lavoro e sulle caratteristiche microclimatiche, compilato sul modello di quello pubblicato da Grieco e Coll. [10], con alcune modifiche, di cui la più importante è quella di avere espresso la soggettività della sensazione termica mediante la stessa scala adottata da Fanger; si è insistito ogni volta perché la risposta si riferisse al momento dell'intervista stesso.

Le risposte ottenute sono state suddivise per gruppi di persone che operavano nello stesso ambiente di lavoro (quindi analoghe caratteristiche microclimatiche) con mansioni simili; si sono esclusi pertanto quei soggetti che compivano lavori differenti (capiturno, meccanici, ecc.). Per ogni gruppo è stato calcolato il voto medio (VM) e questo messo a confronto con il corrispondente PMV. Purtroppo essendoci una estrema variabilità nell'impiego di mano d'opera nei reparti considerati, i gruppi non sono costituiti tutti dallo stesso numero di interviste.

I risultati sono riassunti in un grafico (Fig. 1) riferito a tutte e quattro le fabbriche e precisamente: filatura in provincia di Salerno (dati presi nel mese di dicembre, 43 interviste); confezioni in provincia di Macerata (mese di maggio, 101 interviste); filatura in provincia di Roma (mese di luglio, 68 interviste). Confezioni in provincia di Roma (95 interviste). Notiamo che, mentre nelle prime due fabbriche i valori di PMV trovati sono tutti superiori a $+ 1$ (quindi nella zona del caldo), nelle ultime due vi sono notevoli differenze microclimatiche tra un reparto e l'altro ed in quelli in cui ci si avvicina alla neutralità c'è la tendenza a sottostimare le condizioni ambientali rispetto al PMV, invece al di sopra di $+ 1$ abbiamo una migliore corrispondenza tra il PMV ed il VM.

La correlazione globale delle quattro fabbriche è abbastanza buona, anche se i valori sono allineati su una retta più inclinata. Per la correlazione parziale nei singoli stabilimenti si rimanda alla pubblicazione definitiva, così pure per la valutazione della percentuale di insoddisfatti e per il confronto con la TE.

Considerazioni conclusive

Anche se nella nostra casistica abbiamo trovato solo poche volte valori di PMV inferiori a $+ 1$, possiamo tuttavia tentare alcune prime considerazioni: il PMV pare meglio correlato con la sensazione soggettiva nella zona del caldo, cioè sopra a $+ 1$, che nella zona del benessere; al di sopra di $+ 1$ inoltre non si sono notate sensibili differenze tra le risposte date in inverno e quelle date in estate; tra 0 e $+ 1$ abbiamo dei dati che si riferiscono tutti al periodo estivo: si può interpretare questa non buona correlazione o pensando ad un effetto psicologico dovuto alla notevole differenza microclimatica tra un reparto e l'altro nelle fabbriche interessate per cui si poteva essere portati

a sopravvalutare la temperatura nei reparti più caldi e a sottovalutarla in quelli meno caldi; oppure si può presumere, dal momento che il PMV non fa distinzione tra benessere estivo e benessere invernale, che la zona del *comfort* vada spostata verso valori più alti in estate; inoltre si può ipotizzare che il PMV, essendo stato calcolato a latitudini superiori alla nostra (anche se da studi molteplici condotti in paesi differenti), vada adattato per la zona del *comfort* alle nostre condizioni climatiche.

Infine bisogna considerare che nei posti di lavoro influiscono numerosi altri fattori solo indirettamente correlati al microclima (quali la polverosità e gli altri inquinanti ambientali, i ritmi stressanti, la ripetitività del lavoro, situazioni conflittuali, ecc.), per cui non si può rinunciare allo studio e alla valutazione della risposta soggettiva sul posto di lavoro.

Riassunto. — Viene prospettata l'importanza di disporre di un indice quale il PMV nei casi in cui ci si proponga di ricercare negli ambienti di lavoro le condizioni di benessere termico.

Allo scopo di verificare l'attendibilità di tale indice nelle condizioni del lavoro industriale, vengono successivamente riportati i dati ottenuti confrontando l'indice stesso e la valutazione soggettiva del microclima nei lavoratori di quattro industrie tessili, per un totale di 251 interviste. La correlazione è buona pur con qualche limite, di cui si prospettano le possibili cause. È fondamentale anche la valutazione diretta della soggettività.

Summary (*Fanger's PMV (Predicted Mean Vote) index comparison with thermal environment sensation of textile industry workers*). — The AA. point out Fanger's PMV index to be remarkably useful to evaluate thermal comfort in work environment.

Index reliability is verified in four textile industries by index comparison with workers sensation for thermal environment (251 interviews).

Correlation is good; the AA., found, however, some limitation about the possible reasons of which they inquired. Also directly appraising worker sensation is essential.

BIBLIOGRAFIA

1. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1966. Thermal Comfort Conditions. ASHRAE Standard 55-66, New York.
2. FANGER, P. O. 1967. Calculation of thermal comfort: Introduction of a basic comfort equation. ASHRAE Transactions, 73, Part II, pp. III. 4.1-III. 4.20 (No. 2051).

3. FANGER, P. O. 1970. Condition for thermal comfort. Introduction of a general comfort equation. In: J. D. Hardy: *Physiological and Behavioral Temperature Regulation*. Charles C. Thomas, Illinois.
4. FANGER, P. O. 1970. *Thermal Comfort*. Danish Technical Press, Copenhagen. Republished by McGraw-Hill Book Co., New York, 1973.
5. FANGER, P. O. 1973. Assessment of man's thermal comfort in practice. *Brit. J. Ind. Med.* **30**: 313-324.
6. PASSMORE, R. & DURNIN, J. V. G. A. 1967. *Energy, work and leisure*. Heinemann, London.
7. TURNER, D. 1955. Energy cost of some industrial operations. *Brit. J. Ind. Med.* **12** 237.
8. ASTRAND, P. O. & RODAHL, K. 1970. *Textbook of Work Physiology*. McGraw-Hill Book Co., New York.
9. LEHMANN, G. E., MULLER, A. & SPITZER, H. 1950. Der Kalorienbedarf bei gewerblicher Arbeit. *Arbeitsphysiol.* **14**: 166.
10. GRIECO, A., MORONI, M. & MERLUZZI, F. 1976. Messa a punto di un modello di registro dei dati ambientali e biostatistici. *Med. Lav.* **67**, 5: 382-406.

Apparecchi con radioisotopi emettitori alfa nell'industria: rischio di dose da radiazioni ionizzanti

L. FAILLA

Direzione Centrale per il Funzionamento, CNEEN

Analisi del campione

È stato preso in esame un campione costituito da 1.655 apparecchi contenenti radioisotopi, usati in 153 aziende; esso, considerata la varietà del tipo delle aziende (comprendenti praticamente tutti i settori della produzione industriale) e degli apparecchi (23 tipi), può considerarsi rappresentativo della situazione italiana in questo settore. Tra i radioisotopi presenti nel campione, 4 sono emettitori alfa (Am241; Po210; Pu238; Ra226) e gli apparecchi che li contengono sono 849; di essi uno contiene Po210 ed uno Pu 238; 690 contengono Am241 e 157 Ra226. Tra quelli con Am241, 47 sono parafulmini e 634 rivelatori di fumo; tra quelli con Ra226, 67 sono parafulmini, 27 rivelatori di fumo, 47 scaricatori elettrostatici e 7 misuratori di livello. Si constata così che gli apparecchi con emettitori alfa maggiormente presenti nel campione sono: rivelatori di fumo, parafulmini, scaricatori elettrostatici; ci limiteremo quindi a considerare questi apparecchi. Poiché il loro utilizzo è basato principalmente sulla emissione alfa, quella gamma, praticamente sempre presente nei casi in esame, può essere considerata « disturbante » e quindi è possibile cercare di ridurla senza danno per l'efficienza dell'apparecchio.

Calcolo della possibile dose da ogni apparecchio contenente radioisotopi emettitori alfa

Nelle condizioni di normale uso, supponendo l'integrità del contenimento della sorgente, il rischio di dose sarebbe limitato all'emissione gamma ma, considerate le caratteristiche dei radioisotopi in questione, praticamente trascurabile, con eccezione per il Ra 226; comunque sempre sostanzialmente inferiore al rischio da contaminazione. Poiché per questo tipo di apparecchi

è teorico supporre l'integrità del contenimento, appare opportuno considerare per ognuno di essi la dose di radiazioni ionizzanti che possono dare in caso di alterazione del contenimento della sorgente.

Il calcolo, che sarà limitato al rischio da contaminazione assolutamente preminente rispetto a quello da irraggiamento, sarà fatto nelle ipotesi assolutamente cautelative di perdita completa della capacità di contenimento e di assorbimento completo del radioisotopo per inalazione da parte di un solo

lavoratore. Esso è effettuato usando la formula [1]:
$$d = \frac{\mu\text{Ci}_p \times \text{D.M.A.}}{\mu\text{Ci/a}}$$

μCi_p = attività del radioisotopo nell'apparecchio;

$\mu\text{Ci/a}$ = attività che dà la dose massima ammessa in un anno [2]; D.M.A. = dose massima ammessa in un anno (rem/a) per l'organo critico (rene per Am241; osso per Ra226) [3]. Per Am241: $\mu\text{Ci/a} = 1,5 \cdot 10^{-2}$; D.M.A. = 15rem/a; per Ra226: $\mu\text{Ci/a} = 7,1 \cdot 10^{-2}$; D.M.A. = 30rem/a.

Parafulmini: nel campione ciascuno di essi contiene una attività di $10^5 \mu\text{Ci}$ di Am241 o di Ra226; la dose in rem possibile per ognuno è quindi, nelle ipotesi assunte e con la formula di cui sopra: $1 \cdot 10^6$ per l'Am241 e $4,2 \cdot 10^5$ per il Ra226.

Rivelatori di fumo: nel campione essi contengono diverse attività di Am241, cioè in μCi : 10^5 ; 10^2 ; 10, per apparecchio, che possono dare rispettivamente le seguenti dosi in rem: $1 \cdot 10^6$; $1 \cdot 10^5$; $1 \cdot 10^4$. Il Ra226 contenuto è invece per ogni apparecchio sempre $10^3 \mu\text{Ci}$; ciascuno di essi quindi può dare la dose: $4,2 \cdot 10^5$ rem.

Scaricatori elettrostatici: dei 47 presenti nel campione, n. 46 contengono $10^3 \mu\text{Ci}$ di Ra226; ciascuno di essi può dare quindi una dose di $4,2 \cdot 10^5$ rem.

Calcolo della possibile dose nelle aziende da apparecchi contenenti emettitori alfa

Le ipotesi sono le stesse usate per gli apparecchi; in questa sede si addizioneranno le dosi provenienti dai diversi apparecchi presenti nelle singole aziende; avendo presa come ipotesi la perdita completa della capacità di contenimento è sufficiente conoscere i radioisotopi e le rispettive attività presenti qualunque sia il numero ed il tipo degli apparecchi. Applicando la formula già utilizzata si ottengono valori delle dosi in rem compresi tra $2 \cdot 10^4$ e 10^8 per le diverse aziende; esse risultano, rispetto a questi valori, così distribuite: n. 4 (14,2 %): 10^8 ; n. 10 (35,7 %): 10^7 ; n. 7 (25 %) : 10^6 ; n. 5 (17,8 %) : 10^5 ; n. 2 (7,1 %) : 10^4 .

Conclusioni

Da quanto sopra esposto risultano rischi di dose di radiazioni ionizzanti assai elevati. Essi sono però assolutamente teorici ed il loro significato in questo lavoro non esprime una reale possibilità di un rischio del valore calcolato (il cui verificarsi è praticamente impossibile a causa delle ipotesi paradossalmente cautelative assunte) ma un metodo di calcolo che può essere applicato, come è già stato fatto [4], a situazioni reali considerando e valutando le caratteristiche condizioni del caso particolare. È però possibile già in questa sede, che può essere definita di carattere generale, proporre alcuni accorgimenti per ridurre il rischio di dose qualunque siano le ulteriori condizioni particolari. Essi sono:

— riferito alle modalità costruttive. È necessario studiare ed usare tutti i migliori accorgimenti tecnici che, rispettando le condizioni di buon funzionamento dell'apparecchio, rendano praticamente impossibile la perdita della capacità di contenimento della sorgente radioattiva, almeno nelle condizioni di « normale uso ». Questa affermazione potrebbe apparire ovvia se l'esperienza non ci avesse fatto conoscere una realtà ben diversa! È bene però precisare che non è sempre tecnicamente possibile accordare il buon funzionamento dell'apparecchio con una capacità di contenimento come sarebbe desiderabile ed auspicabile; ma è comunque molto importante che esista almeno una continua attenzione a questa problematica tecnologica al fine di un miglioramento che può progredire con le maggiori acquisizioni conoscitive.

— riferito alla posizione in cui è posto l'apparecchio. Essa, ovviamente rispettando le possibilità di utilizzo, dovrà essere scelta in modo tale che, nella ipotesi di perdita delle capacità del contenimento, la parte di sorgente radioattiva che si disperde raggiunga nella minore quantità possibile i lavoratori addetti. Nel caso del rischio di dose riferito all'azienda nel suo complesso, alla scelta della dislocazione del singolo apparecchio è da aggiungere quella dei diversi apparecchi, per esempio evitando di concentrarli in uno stesso ambiente.

Concludendo: più si riesce a perfezionare la tecnica costruttiva nel senso sopra detto ed a sensibilizzare gli operatori del settore, più si possono proteggere gli interessati dal rischio di dosi assolutamente inutili.

Riassunto. — L'A. prende in esame 1.655 apparecchi contenenti radioisotopi ed usati in 153 aziende italiane rappresentative del settore produttivo. Da questi sono estrapolati quelli contenenti emettitori alfa. Per questi e per ogni azienda, con un metodo originale, sono calcolati i rischi di dose. Se ne deduce un modello teorico applicabile con le dovute variazioni a singoli casi reali.

Summary (*Alfa emitter instruments in industry: dose risk*). — The A. examines a sample of 1,655 instruments containing radioisotopes, used in 153 Italian firms. Alfa emitter instruments among them are pointed out and, for these and for each firm, dose risk is calculated, with an original method. This is a theoretical model that is applicable, with particular conditions, at single real cases.

BIBLIOGRAFIA

1. FAILLA L. 1975. Risk of doses in the firms that use radiometric instruments. *Third European Congress of the IRPA* (Amsterdam).
2. IAEA. 1967. *Basic Safety Standards for Radiation Protection*. 1967. Edition Vienna.
3. G. U. Comunità Europee. 12 luglio 1976.
4. FAILLA, L. GHEZZI, I.. 1977. Il rischio nucleare nella industria siderurgica: I misuratori di livello. *40° Congresso di Medicina del Lavoro*, Milano.

Considerazioni su alcune lievi radiocontaminazioni interne

C. TESTA

Servizio Medicina e Radiotossicologia, CNEN, CSN Casaccia, Roma

Scopo di questo lavoro è di mostrare come sono stati affrontati alcuni casi di contaminazione interna da sostanze radioattive, mettendo in evidenza i particolari tipi di intervento e di analisi biologiche che sono stati effettuati di volta in volta per risalire all'accumulo corporeo ed alla dose ricevuta dai contaminati.

In particolare verranno esaminati un caso di contaminazione da ingestione di nitrato di polonio, un caso di ferita da $^{239}\text{PuO}_2$ e quattro casi di contaminazione da inalazione ($^{239}\text{PuO}_2$, $^{170}\text{Tm}_2\text{O}_3$ e $^{137}\text{CsCl}$).

La curva di escrezione urinaria di Po-210 osservata dopo una ingestione accidentale di nitrato di polonio [1] ha permesso di ricavare un tempo di dimezzamento biologico del polonio nell'individuo contaminato pari a 29 giorni e di risalire, per estrapolazione della suddetta curva, all'incorporazione iniziale. Da questi dati è stato possibile calcolare un carico corporeo (*body burden*) pari a circa $0,01 \mu\text{Ci}$ ed una dose all'organo critico (milza) pari a circa 0,5 rem.

Il secondo caso riguarda un individuo contaminato per ferita ad un dito con circa 70 nCi di ossido di plutonio-239, radionuclide altamente radiotossico [2]. Fu effettuata una pronta *toilette* chirurgica della ferita allo scopo di impedire che il plutonio entrasse in circolo e si andasse a fissare negli organi di elezione (osso e fegato). La scarsissima escrezione di plutonio che fu riscontrata nelle urine e nelle feci del contaminato dimostra che questo pronto intervento ha effettivamente reso minima ($0,1 \div 1$ nCi) la quantità di plutonio entrata in circolo, il che è anche stato facilitato dall'elevata insolubilità del materiale contaminante. Anche la radioattività residua nella ferita, calcolata in condizioni geometricamente costanti, è diminuita rapidamente nei primi 20 giorni portandosi poi ad un valore pressoché costante molto vicino al limite di sensibilità del metodo (0,2 nCi).

Gli altri casi qui considerati riguardano radiocontaminazioni da inalazione. Poiché dal modello di Langham [3] si ricava che ogni inalazione di

materiale radioattivo particolato si trasforma sempre in una ingestione indiretta il campione più significativo risulta essere in questo caso l'escrezione fecale dei primi quattro-cinque giorni dopo la contaminazione da inalazione; da tale escrezione è possibile ricavare l'accumulo al polmone (organo critico), che è approssimativamente 1/5 della suddetta escrezione globale.

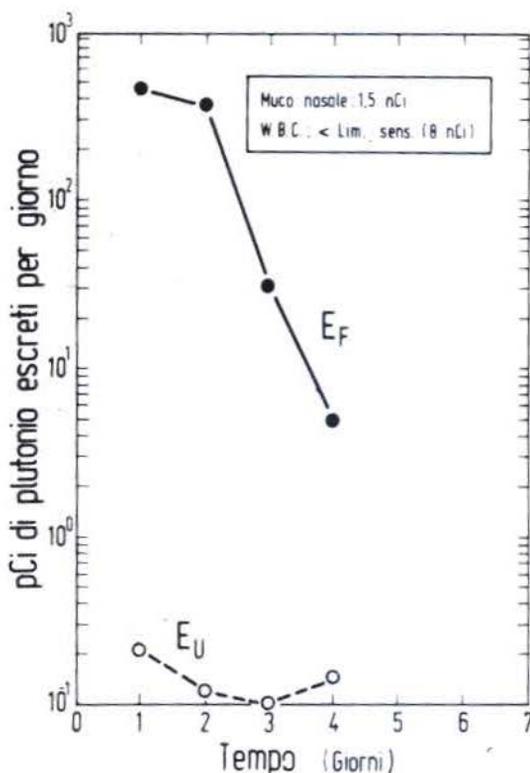


Fig. 1. — Escrezione urinaria e fecale di plutonio dopo inalazione di PuO_2 .

La Fig. 1 mostra le curve di escrezione fecale (E_f) ed urinaria (E_u) ricavate dopo un caso di leggera radiocontaminazione per inalazione di $^{239}\text{PuO}_2$; si può notare l'alto valore del rapporto E_f/E_u , specie nei primi giorni. Il relativo carico polmonare è risultato essere compreso tra 0,1 e 0,2 nCi.

L'andamento di E_f e di E_u è ancora più chiaro per una analoga contaminazione con PuO_2 che, essendo più consistente, è stata seguita mediante indagini su campioni biologici per 150 giorni dall'esposizione (Fig. 2). Anche qui il rapporto E_f/E_u è molto elevato (circa 10^4) e la E_f è assai ripida nei primissimi giorni; ciò si spiega tenendo presente la notevole insolubilità del materiale inalato e la sua grossa granulometria.

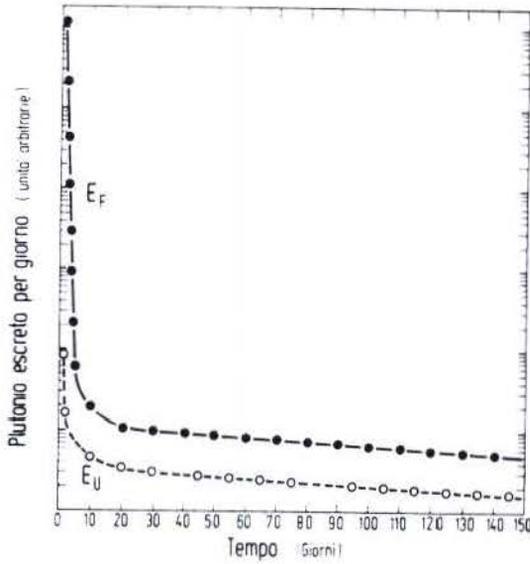


Fig. 2. — Escrezione urinaria e fecale di plutonio dopo inalazione di PuO_2

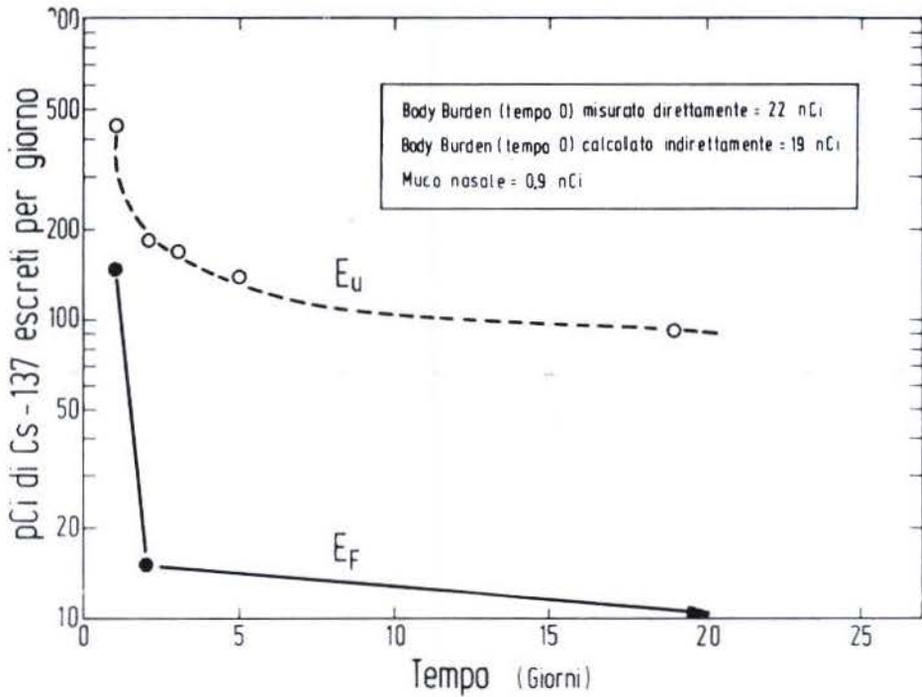


Fig. 3. — Escrezione urinaria e fecale di Cs-137 dopo inalazione di $^{137}\text{CsCl}$

L'altro caso di inalazione qui considerato [4] riporta una radiocontaminazione da $^{170}\text{Tm}_2\text{O}_3$, che, essendo anch'esso un materiale altamente insolubile, ha dato luogo ad una insignificante escrezione urinaria e ad una notevole escrezione fecale nei primi giorni. L'accumulo polmonare è risultato pari a circa $0,2 \mu\text{Ci}$.

L'ultimo caso riguarda l'inalazione di un composto radioattivo solubile, il $^{137}\text{CsCl}$; questa volta, come era logico aspettarsi in considerazione della solubilità del materiale a livello polmonare e gastro-intestinale, la curva di escrezione urinaria è risultata superiore a quella fecale (Fig. 3). Inoltre l'escrezione urinaria segue due esponenziali: uno a tempo di dimezzamento biologico (T_b) breve e l'altro a T_b più alto, così come riportato in letteratura [4]. Dall'escrezione del Cs-137 nelle urine delle 24 ore al ventesimo giorno dalla contaminazione è stato ricavato indirettamente un accumulo corporeo di 19 nCi, valore molto simile a quello ottenuto direttamente con un contatore del corpo umano, « Whole Body Counter » (22 nCi).

Va sottolineato che in tutti i quattro casi di radiocontaminazione da inalazione, l'analisi del tampone nasale è stata un'utilissima spia per l'individuazione della contaminazione stessa.

TABELLA I

Rapporto $\frac{E_f}{E_u}$ e $\frac{E_f}{\text{M.N.}}$ per inalazione di alcuni composti

COMPOSTO INALATO	E_f/E_u in funzione del tempo							Feci (1°-4° giorno)
	Giorni							
	1	2	4	10	50	100	150	Muco nasale
PuO_2 (ins.) . . .	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	35	—	—	—	—	0,5
PuO_2 (ins.) . . .	$\sim 10^4$	$\sim 10^4$	25	3,5	2,5	3	3	~ 12
Am_2O_3 (ins.) . . .	$5 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	40	3	—	—	—	~ 12
Tm_2O_3 (ins.) . . .	$> 4 \cdot 10^2$	—	—	—	—	—	—	$2 \div 10$
CsCl (sol.) . . .	0,33	0,08	—	—	—	—	—	0,5

La Tab. 1 mostra infine il rapporto E_f/E_u in funzione del tempo per diversi materiali inalati, nonché il rapporto escrezione fecale/tampone nasale. Il primo rapporto, a parte il CsCl, solubile, è sempre molto elevato, ma diminuisce poi col tempo fino ad un valore pressochè costante. Il secondo

rapporto è alquanto variabile poichè dipende ovviamente dalla estrema variabilità del tampone nasale, legata alla granulometria ed alla solubilità del composto, al modo di respirare dell'individuo e al tempo ed al modo di prelievo del campione.

Riassunto. — Sono brevemente riportati alcuni casi di lieve radiocontaminazione interna da sostanze radioattive (^{210}Po , ^{239}Pu , ^{170}Tm , ^{137}Cs) per ferita, ingestione ed inalazione. In particolare vengono descritte le tecniche radiotossicologiche utilizzate per risalire alla contaminazione ed alla dose ricevuta.

Summary (*Considerations on some small internal radioactive contaminations*). — Some cases of small internal radioactive contaminations (^{210}Po , ^{239}Pu , ^{170}Tm , ^{137}Cs) by wound, ingestion and inhalation are reported. The radiotoxicological techniques carried out to obtain the body burden and the committed dose are particularly described.

BIBLIOGRAFIA

1. STRAMBI, E. & TESTA, C. 1968. Su un caso di contaminazione interna da polonio-210. *RT/PROT(68)* **18**: 1-32.
2. TESTA, C. & DELLE SITE, A. 1972. The study of a case which involved a wound contaminated with insoluble Pu and Am-241. *IInd IRPA Regional Congress on Health Physics Problems on Internal Contamination*, pp. 593-599.
3. ICPR Publication 2 (1959). Pergamon Press.
4. STRAMBI, E. & TESTA, C. 1966. Su un caso di contaminazione interna da tulio-170. *Giorn. Fis. Sanit.*: **10**: 1-11.