Industria elettronica: rischio da elementi metallici

GIOVANNI CARELLI, ROBERTO LA BUA, VALENTINO RIMATORI, FRANCESCO VINCI e ANGELO IANNACCONE

Istituto di Medicina del Lavoro, Facoltà di Medicina e Chirurgia, Università Cattolica del S. Cuore

Riassunto. – Viene descritta una metodica di campionamento e di analisi di argento, piombo e stagno mediante spettrofotometria di assorbimento atomico senza fiamma a fornace di grafite nell'aria di un ambiente di lavoro dell'industria elettronica. È stato studiato l'effetto dell'acidità del campione sulla sensibilità del metodo analitico. Vengono riportati i risultati delle concentrazioni elementari ambientali; la valutazione è stata fatta secondo i limiti (TLVs) adottati dalla American Conference Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

Summary. – Sampling and analysis methods have been developed for the determination of silver, lead and tin in the environmental air of an electronic plant. Graphite furnace flameless atomic absorption spectrophotometry was used for the elements determination. The influence of the acidity of the sample on the analytical sensitivity was studied. Environmental elemental concentrations have been reported and the evaluation was carried out according the Threshold Limit Values (TLVs) adopted by the American Conference Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).

Introduzione.

Nell'industria elettronica vengono utilizzate leghe Sn-Pb per la saldatura dei componenti sia in fase di assemblaggio che di riparazione. Le saldature possono essere realizzate sia manualmente che con apposite macchine. È di fondamentale importanza impedire la formazione di ossidi durante la fusione della lega sul particolare da saldare. Nella maggior parte dei casi la lega impiegata per la saldatura viene utilizzata sotto forma di filo animato contenente disossidanti. In altri casi il disossidante viene applicato manualmente sulla superficie da saldare. Per saldature più complesse vengono impiegate macchine automatiche che mantengono la lega fusa ed isolata dall'atmosfera mediante uno strato liquido superficiale di disossidante. L'isolamento della lega fusa dall'ossigeno atmosferico può essere realizzato anche in forni a resistenza elettrica in atmosfera

I flussanti sono per la maggior parte a base di colofonia, costituita da miscele di acidi terpenici isomerizzati per la maggior parte ad acido abietico per azione del calore.

Scopo del presente lavoro è la messa a punto di una metodica di campionamento e di analisi che ci ha permesso la valutazione del rischio da argento, piombo e stagno in un ambiente di lavoro dell'industria elettronica, dove venivano assemblati componenti elettronici per orologi e calcolatrici, transistors di potenza e circuiti integrati.

I campionamenti di aria ambientale sono stati finalizzati al controllo dell'ambiente in generale e delle singole posizioni di lavoro. Nella realizzazione di questi obiettivi si è posta maggiore attenzione ai campionamenti di tipo personale, i quali costituiscono la maggior parte dei prelievi, data la natura prevalentemente sedentaria delle lavorazioni.

I campionamenti di tipo personale hanno avuto una durata minima di 30 min. Tempi inferiori avrebbero portato a risultati poco accurati a causa delle basse concentrazioni elementari esistenti nello stabilimento. Un campionamento di 30 min è stato tuttavia sufficiente a descrivere le condizioni di rischio a causa sia dei bassi valori delle concentrazioni elementari, sia per le caratteristiche ripetitive della lavorazione.

La durata massima del campionamento è dipesa, oltre che dal dettaglio delle informazioni che si volevano ricavare, dalla possibilità di occlusione dei micropori dei filtri a membrana impiegati nei prelievi. L'aerosol ambientale era infatti costituito, oltre che da un particolare solido submicronico, da una frazione liquida proveniente dal flussante. Abbiamo perciò ritenuto opportuno limitare la durata dei campionamenti di tipo personale tra 0,5 e 4 ore.

I tempi di campionamento e le concentrazioni ponderali elementari riscontrate hanno reso necessario l'impiego della spettrofotometria di assorbimento atomico senza fiamma a fornace di grafite per la determinazione degli elementi.

PARTE SPERIMENTALE.

Campionamento.

I prelievi sono stati effettuati utilizzando una linea costituita da un filtro a membrana in acetato di cellu-losa (porosità media 0,45 µ, diametro 47 mm, diametro filtrante 35 mm), da una pompa aspirante e da un contatore volumetrico a secco. Il flusso di aspirazione all'inizio dei prelievi era di 14 l/min e spesso diminuiva nel corso del campionamento; il filtro veniva sostituito quando il flusso scendeva al disotto di 10 l/min.

Reattivi e soluzioni.

Acqua deionizzata.

Acido nitrico al 65 % (Suprapur-Merck).

Acido solforico al 98 % (Suprapur-Merck).

Miscela solfonitrica ottenuta mescolando acido nitrico solforico nel rapporto 5:2.

Soluzione di acido nitrico 2 N.

Perossido di idrogeno al 30 % (RSE-Carlo Erba.) Soluzioni standard di argento, piombo e stagno rispettivamente a 0,010, 0,050 e 0,40 mg/l in acido nitrico 2 N.

Strumentazione.

Spettrofotometro di assorbimento atomico mod. 403 Perkin-Elmer, fondo scala 0,250 A. Sorgenti delle radiazioni analitiche: lampada a catodo cavo all'argento, $\lambda = 328,0$ nm; lampada a scarica a radiofrequenza al piombo, $\lambda = 283,3$ nm; lampada a scarica a radiofrequenza allo stagno, $\lambda = 224,6$ nm. Fornace di grafite mod. HGA-72 Perkin+Elmer, programmi analitici: argento e piombo 100 °C per 35 sec (valore digitale 30), 500 °C per 35 sec (valore digitale 600); stagno 100 °C per 35 sec (valore digitale 30), 640 °C per 35 sec (valore digitale 120), 2600 °C per 10 sec (valore digitale 999). Gas di trasporto azoto N 50 (SIO) al flusso di 0,7 1/min per

stagno e piombo, 1,5 l/min per l'argento. Registratore potenziometrico Hitachi mod. 56, 10 mV a fondo scala per lo stagno, 5 mV per l'argento e il piombo.

Mineralizzazione dei filtri.

I filtri impiegati nel campionamento vengono introdotti in provettoni di quarzo (30 x 110 mm) contenenti ciascuno 3 ml di miscela solfonitrica. Parallelamente viene allestito un bianco con un filtro non usato. I provettoni vengono posti su piastra riscaldante a graniglia di vetro pirex e mantenuti a 210 °C fino a carbonizzazione del residuo e a comparsa di fumi bianchi di anidride solforica. Si tolgono i provettoni dalla piastra e si lasciano raffreddare, si aggiunge 1 ml di perossido di idrogeno e si riportano sulla piastra riscaldante, avendo cura di tenerli appoggiati sulla superficie della graniglia: in tal modo il processo di ossidazione dei residui carboniosi viene prolungato nel tempo. Il trattamento con perossido di idrogeno va ripetuto più volte fino a completa ossidazione dei residui carboniosi. I campioni vengono concentrati fino ad un volume di circa 50 µl, ripresi con acido nitrico 2 N e portati a volume in palloncini tarati da 10 ml.

Effetto dell'acidità sul segnale analitico di argento, piombo e stagno.

È stato effettuato lo studio delle curve di taratura in soluzione acquosa, in acido nitrico 0,2 N e 2 N.

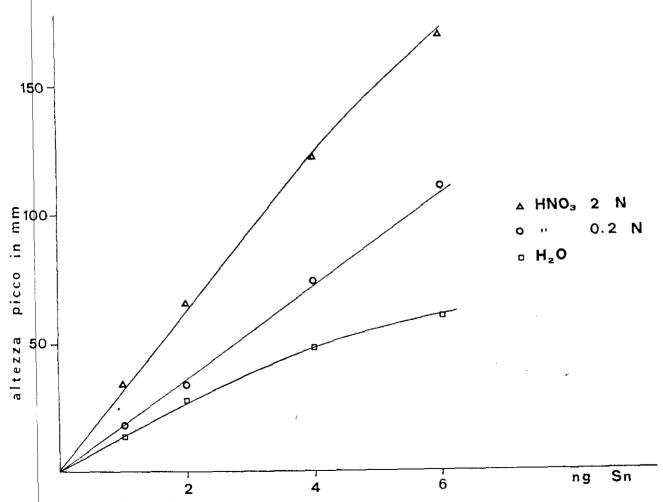


Fig. 1. - Curve di taratura dello stagno in soluzione acquosa, in acido nitrico 0,2 e 2 N.

In Fig. 1 viene riportata la curva di taratura dello stagno ottenuta nei tre mezzi. Si osserva che la sensibilità analitica dello stagno aumenta marcatamente con l'acidità della soluzione. Si è ritenuto pertanto opportuno lavorare in acido nitrico 2 N. In tali condizioni, inoltre, si previene l'idrolisi e la precipitazione dello stagno. Per quanto riguarda l'argento si è osservata, in soluzione acquosa, una riduzione dell'intervallo di linearità rispetto a quello riscontrato in soluzione acida. Un intervallo di linearità più ampio (0 – 0,6 ng) è stato riscontrato per la soluzione più acida.

Per il piombo non sono state riscontrate differenze significative tra le tre curve di taratura.

Analisi dei campioni.

Vengono analizzate aliquote di 5-30 µl del campione eventualmente diluito con acido nitrico 2 N, corrispondenti a quantità di argento, piombo e stagno non superiori rispettivamente a 0,05, 0,25 e 2,0 ng. Le analisi vengono fatte con il metodo delle aggiunte addizionando al campione 0,05, 0,25 e 2,0 ng rispettivamente di argento, piombo e stagno, per compensare eventuali effetti di interferenza della matrice.

Le concentrazioni ambientali degli elementi sono state ricavate dividendo per il volume di aria campionata le quantità totali di argento, piombo e stagno, calcolate secondo il metodo delle aggiunte.

RISULTATI E CONCLUSIONI.

In tab. 1 sono riportati i risultati delle concentrazioni ponderali medie in µg/m³ di argento, piombo e stagno, nonché le deviazioni standard in corrispondenza della zona di respirazione dei saldatori e dei centri ambiente. Le medie sono state calcolate su 40 posizioni di saldatura e 15 di centro ambiente.

I risultati mostrano che i valori ottenuti mediante campionamenti personali, e cioè in corrispondenza della zona di respirazione degli addetti alla saldatura, sono più elevati. La relativa ampiezza delle deviazioni standard può essere spiegata considerando sia i fattori che possono differenziare una saldatura dall'altra (dimensione dei particolari da saldare, diametro del filo, durata della saldatura, ritmo di lavoro), sia le condizioni microclimatiche esistenti nelle strette vicinanze del pun-

Tabella 1. – Concentrazione ponderale di argento, piombo e stagno in $\mu g/m^3$.

POSIZIONE	Ag	Pb	Sn	
Centro ambiente.	0,020±0,008	0,43±0,25	0,40±0,37	
Zona di respirazio- ne del saldatore	0,051±0,075	1,26±1,10	0,91±0,83	

to di saldatura nonché la presenza o meno di sistemi localizzati di aspirazione dei fumi. I valori riscontrati, pur esibendo fluttuazioni relativamente elevate, come dimostrano le deviazioni standard, sono tuttavia da considerarsi bassi.

Per quanto concerne l'interpretazione dei risultati relativi ai centri ambiente, la variabilità è dovuta al contributo dei risultati relativi a postazioni di prelievo molto distanti dai banchi di saldatura.

Le concentrazioni ponderali di polvere totale sono risultate tutte minori di 2,5 mg/m³, valore inferiore a 5 mg/m³ che è il limite dei fumi di saldatura adottato dall'ACGIH (American Conference Governmental Industrial Hygienists) per l'anno 1979. La stessa ACGIH raccomanda tuttavia l'analisi elementare dei fumi qualora siano presenti elementi tossici caratterizzati da TLV (Threshold Limit Value) particolarmente bassi. I TLV dell'argento, dello stagno e del piombo sono rispettivamente 0,01 mg/m³ (come argento metallico) e 0,01 mg/m³ (come argento-composti solubili), 2 mg/m³ (come stagno-composti inorganici) e 0,1 mg/m³ (come stagno-composti organici), 0,15 mg/m³ (come piombo-composti inorganici).

Tutti i valori di concentrazione ponderale elementare sono risultati inferiori ai limiti più bassi previsti per ciascun elemento e sono quindi tali da non prospettare rischio.

Va comunque ribadito che il problema della tossicità dei fumi di saldatura di leghe Sn – Pb non si esaurisce con l'analisi degli elementi ma va anche affrontato attraverso lo studio della frazione organica derivante dal riscaldamento della colofonia. A tale scopo stiamo mettendo a punto metodiche di prelievo e analisi per la determinazione quantitativa delle sostanze organiche che si sviluppano durante questo tipo di lavorazione.

La esposizione dell'uomo alle vibrazioni. Effetti, criteri di valutazione e limiti di ammissibilità

M. COSA (a) e M. NICOLI (b)

- (a) Facoltà di Architettura della Università di Pescara, Cattedra di Igiene Edilizia;
- (h) Istituto Superiore di Sanità, Laboratoro di Igiene del Territorio

Riassunto. – Le attuali conoscenze degli effetti delle ribrazioni sull'uomo e le relative metodologie di valutazione e di misura non sono ancora sufficientemente approfondite e mancano inequivocabili criteri di commisurazione.

Dopo aver analiticamente illustrato gli effetti disturbanti o lesivi delle vibrazioni sui soggetti esposti, sono stati presi in considerazione i principali criteri di valutazione ed i liniti di accettabilità proposti da differenti Autori.

È stato successivamente effettuato l'esame delle normative esistenti, considerando separatamente quelle relative alle vibrazioni trasmesse all'intero corpo e quelle esercitate sul sistema mano-braccio.

A conclusione è stato proposto un criterio di valutazione, hasato sulla commisurazione dell'energia totale prodotta dal fenomeno vibratorio durante prefissati periodi di esposizione, che consente di poter calcolare il «Livello Equivalente di Vibrazione» (EQLV). Tale parametro, obbedendo al principio della egual energia, costituisce lo strumento matematico più efficace e rappresentativo per fornire concreti elementi di giudizio sulla esposizione dell'uomo alle vibrazioni.

Generalità.

Ai fini della valutazione degli effetti delle vibrazioni sull'uomo, il corpo umano può assimilarsi ad un sistema meccanico costituito da elementi inerziali (masse corporce), da elementi elastici (muscolature) e da elementi dissipativi (strati adiposi, cartilagini, ecc.), che smorzano le vibrazioni.

In condizioni ordinarie il corpo umano può essere soggetto a forze che inducono spostamenti periodici secondo le tre coordinate spaziali. Tali spostamenti possono ritenersi generati da più sistemi vibranti ad un sol grado di libertà (cioè che agiscono secondo una sola coordinata spaziale), collegati tra loro in modo che il movimento di uno di essi influenzi e determini quello degli altri [1].

È da tener presente inoltre che le caratteristiche dinamiche di risposta del corpo umano sono fortemente correlate con la posizione del soggetto patente e con il grado della sua tensione muscolare; quest'ultimo fattore, infatti, può influire sulle modalità di trasmissione delle vibrazioni stesse [2].

Altri fattori che interferiscono sull'azione delle vibrazioni nei riguardi dell'organismo, sono legati alle caratteristiche fisiche della sollecitazione meccanica: frequenza, ampiezza, accelerazione, durata e direzione delle vibrazioni; alla natura e alle caratteristiche della sorgente e del soggetto sottoposto alle vibrazioni; a fattori di tipo fisiopatologico, quali lo stato di affaticamento dei muscoli, le condizioni del sistema osteo-articolare, i fattori costituzionali, le condizioni di stress, le modalità soggettive di risposta, nonché alla zona interessata ed alla estensione della superficie del corpo umano a contatto con la sorgente vibrante.

Le vibrazioni che interessano l'intero corpo umano riguardano in realtà anche tutti gli organi interni e gli arti e ciascuno di questi, sia per effetto della propria massa che nel sistema visco-elastico che lo collega ad altri organi o parti dello stesso corpo, ha una propria frequenza vibratoria che può anche coincidere con la frequenza vibrante esterna o con un valore multiplo intero di tale frequenza. In questo caso le varie parti soggette alla vibrazione possono entrare in risonanza con la vibrazione base e ciò dà luogo ad una esaltazione del fenomeno vibratorio, con il pericolo di lesioni permanenti dell'organo o degli organi interessati.

Sulla base della più recente letteratura scientifica si può affermare che le sollecitazioni vibratorie con campo di frequenza compreso tra 1 e 1000 Hz sono quelle che determinano i maggiori effetti di disturbo e di danno e che quindi hanno la maggiore importanza nel campo della patologia e della prevenzione; ciò non toglie che anche vibrazioni caratterizzate da frequenze più elevate possano produrre effetti lesivi in particolari condizioni di esposizione, tenendo tuttavia presente che le alte frequenze sono più efficacemente smorzate dalla massa corporea [3].

Una indicazione degli effetti delle vibrazioni sull'organismo umano, per frequenze comprese tra 1 e 1000 Hz, è riportata nella Tab. 1 [4].

Effetti delle vibrazioni sull'uomo.

Gli effetti soggettivi delle vibrazioni sull'uomo sono stati presi in considerazione da numerosi Autori e sono stati egualmente studiati i molteplici problemi che sono connessi con la esposizione dell'uomo alle vibrazioni [5–10].

Tabella 1. – Effetti di alcune vibrazioni sull'organismo umano [4].

Frequenza Hz	Effetti
1–2	Per vibrazioni longitudinali = dispnea.
1-5	Risonanza del fianco per vibrazione orizzontale su corpo seduto.
2	Risonanza della testa per vibrazione orizzontale su corpo seduto.
1-3	Massima influenza sull'apparato respiratorio.
13	Comprendono tutte le risonanze per vibrazioni saggitali.
2–3	Risonanza spalla-testa per vibrazione orizzon- tale sul corpo in piedi.
26	Risonanza del corpo seduto (vibrazione in di- rezione dell'asse del corpo).
3-3,5	Massima risonanza dell'uomo sdraiato su tavolo che vibra longitudinalmente.
3-3,5	Massima risonanza degli organi toraco-addo- minali in posizione portante a muscoli rilas- sati.
3-4	Massimi disturbi addominali.
4	Massima risonanza del corpo per vibrazioni lon- gitudinali.
4-6	Massima risonanza del corpo seduto o eretto per vibrazioni longitudinali.
4-6	Risonanza toraco-addominale per vibrazione verticale sul corpo seduto.
4–10	Riduzione progressiva dell'acuità visiva.
4–10	Modificazione della voce.
4–12	Risonanza del corpo in piedi (vibrazione in di- rezione dell'asse del corpo).
5	Picco di risonanza del corpo eretto per vibra- zione verticale da piattaforma.
5	Massima risonanza toraco-addominale.
6–10	Modificazioni della pressione arteriosa, della frequenza cardiaca e del consumo di ossigeno.
6–10	Disturbi addominali.
7	Massimi disturbi toracici.
8–12 9	Dolori lombo-sacrali.
9	Massima risonanza nell'uomo sdraiato su tavolo che vibra longitudinalmente con piedi e spalle saldamente legate al tavolo.
10-12	Sonnolenza.
10-14	Ulteriore picco di risonanza nell'uomo in posi- zione eretta per vibrazione longitudinale.
12	Picco di risonanza del corpo eretto per vibrazione verticale da piattaforma.
13-15	Risonanza della faringe.
13–20	Risonanza della testa, aumento del tono mu- scolare.
20–30	Massima risonanza del corpo con riduzione del- l'acuità visiva.
20-30	Risonanza della testa e delle spalle per vibra- zione verticale a corpo seduto.
30-40	Disturbi vascolari.
30–50	Effetto rilassante sui muscoli striati.
30–90	Riduzione dell'acuità visiva probabilmente per risonanza dei globi oculari.
40-80	Riduzione della acuità visiva.
60–90	Risonanza dei globi oculari.
40–600	Risonanza del cranio.
100-200	Risonanza del mascellare.
900–1000	Risonanza del cranio.

Allo scopo di ordinare la materia, è possibile classificare gli effetti delle vibrazioni sull'uomo, secondo una scala progressiva di lesività, distribuita nei seguenti livelli: di disturbo — di affaticamento — di interferenza con l'efficienza e con il rendimento — di danno [11].

Analizzando campi più specifici di interesse, può essere rilevato che, nell'ambito dei mezzi di trasporto, le vibrazioni possono essere causa di fastidio sia per gli utenti che per il personale addetto ai mezzi stessi.

Nel campo di interesse predetto gli effetti delle vibrazioni sono legati più al tempo di esposizione che all'entità delle vibrazioni in questione. Nei mezzi di trasporto infatti le sollecitazioni vibratorie, pur potendo essere piuttosto elevate, non raggiungono mai, in condizioni ordinarie, livelli rapidamente lesivi. È da tener presente inoltre, che all'interno dei mezzi di trasporto le vibrazioni tendono a manifestarsi secondo vettori variabili (effetto di scuotimento) e a non localizzarsi su superfici ristrette del corpo dei soggetti interessati. Prevalgono quindi gli effetti di annoyance o eventualmente i disturbi a tipo di chinetosi, mentre solo esposizioni molto prolungate possono eventualmente indurre danni organici chiaramente evidenziabili, danni che, d'altra parte, non colpiscono quasi mai i passeggeri, ma che sono riscontrabili talvolta fra il personale addetto [12-14].

Le frequenze che interessano i mezzi navali e che sono legate al moto ondoso, oscillano ordinariamente fra 0,05 ed 1 Hz, generando effetti di disturbo già con accelerazioni comprese tra 0,01 e 0,1 m/s².

Negli automezzi stradali le vibrazioni trasmesse dagli organi di sospensione hanno frequenze comprese tra 1 e 20 Hz, con accelerazioni verticali di punta che raggiungono 1 m/s² nelle vetture più confortevoli, ma che possono arrivare a 3–5 m/s² nelle vetture più scadenti e fino a 10 m/s² nei mezzi cingolati [15].

Nell'ambito delle attività lavorative industriali, artigiane o di altra natura, macchinari o strumenti vibranti possono trasmettere vibrazioni particolarmente intense all'uomo e possono quindi determinare effetti lesivi anche gravi a carico dei differenti organi ed apparati [16].

È da tener presente infine che vibrazioni generate da macchinari o da attrezzature diverse possono essere trasmesse alle pareti di edifici di abitazione o di altri ambienti di lavoro: in quest'ultimo caso l'effetto lesivo prodotto è esclusivamente di annoyance [6].

Le vibrazioni possono essere misurate come spostamento, velocità o accelerazione; la loro entità può essere egualmente valutata in dB, rifacendosi tuttavia ad opportuni valori di riferimento, differenti da quelli utilizzati per la valutazione del rumore. Esse esercitano la loro azione sull'organismo dei soggetti esposti secondo varie direzioni che, per semplicità, possono essere ricondotte ai tre assi ortogonali; longitudinale, antero-posteriore e trasversale [3].

Nella direzione trasversale, le frequenze di vibrazione più fastidiose per il corpo umano sono quelle di 1–2 Hz; in quella longitudinale (piedi–testa) invece le più disturbanti sono quelle comprese fra 4 ed 8 Hz. Per frequenze di vibrazione più elevate, il disturbo decresce rapidamente secondo curve a pendenza costante; nella direzione longitudinale, le frequenze inferiori a 4 Hz sono egualmente meno disturbanti [14].

Le vibrazioni fra 4 e 10 Hz provocano i maggiori effetti di risonanza per gli organi endocavitari, mentre

fenomeni vascolari, a tipo morbo di Raynaud, sono causati prevalentemente dalle frequenze fra i 25 ed i 250 Hz e le frequenze fra i 2 ed i 20 Hz possono determinare disturbi della funzione visiva [17, 18].

Nell'ambito della patologia del lavoro gli effetti più evidenti delle vibrazioni sono rappresentati da lesioni di tipo vascolare, osteoarticolare e neuromuscolare [19].

I disturbi di tipo vascolare sono per lo più causati dall'uso di strumenti vibranti. È da tener presente, a tal proposito, che l'intensità delle vibrazioni trasmesse decresce progressivamente in relazione alla distanza dell'area corporea studiata dal punto di contatto con la sorgente di vibrazioni e che quanto più è elevata la frequenza emessa dalla sorgente di vibrazioni stessa, tanto meno l'effetto lesivo tende a propagarsi a distanza dal punto di contatto con la sorgente presa in considerazione. Nel caso di utilizzazione di strumenti vibranti, impugnati tipo martello pneumatico, le vibrazioni a bassa frequenza si estendono a tutto il sistema mano-braccio, le vibrazioni con frequenza superiore ai 70 Hz esplicano la loro azione patogena sull'intera mano, mentre quelle con frequenza superiore ai 150 Hz agiscono esclusivamente sulle dita. I disturbi di tipo vascolare sono rarissimi qualora la frequenza delle vibrazioni superi i 600 Hz [20].

La patogenesi dell'angiopatia da vibrazioni è da ricercarsi nella alterazione dei rapporti fra pressione transmurale e pressione circonferenziale delle arteriole; tale meccanismo favorisce la comparsa di spasmi vasali e del fenomeno di Raynaud, con riduzione o arresto del flusso arterioso digitale [21].

Dopo due anni di esposizione, turbe vasali delle dita compaiono in circa il 50 % dei soggetti che utilizzano strumenti vibranti, mentre la percentuale di tali disturbi nella popolazione non esposta è generalmente compresa fra lo 0,5 e l'1 %. La frequenza della angiopatia da vibrazioni cresce con l'aumento del tempo di esposizione alle vibrazioni stesse, benché tale relazione non sia di tipo lineare; l'angiopatia che è limitata alle mani e che non interessa generalmente il pollice, persiste anche dopo che il soggetto è stato sottratto all'azione della causa ledente; sembra inoltre che dopo un certo numero di anni di esposizione la lesione vascolare si stabilizzi su determinati livelli di danno. Molto rare sono le alterazioni trofiche delle estremità delle dita [17].

In un elevato numero di casi sono state rilevate bradicardia, aumento della pressione arteriosa ed una diminuzione dell'attività del sistema anticoagulante del sangue [22, 23].

Le lesioni osteoarticolari determinate dall'uso di strumenti vibranti, si manifestano solitamente in presenza di vibrazioni con frequenza inferiore ai 30 Hz e consistono essenzialmente in fenomeni di osteoporosi del carpo, in lesioni osteoarticolari di tipo artrosico con eventuale formazione di osteofiti, che colpiscono prevalentemente l'articolazione del gomito e, più raramente, in ossificazione dei piccoli muscoli prossimali delle falangi delle mani; egualmente poco frequenti sono le lesioni delle articolazioni scapolo-omerali e la malattia di Kienböck (necrosi del semilunare) [17, 22].

Sono ancora poco note le specifiche frequenze di risonanza che interessano la colonna vertebrale; sembra comunque che il campo compreso fra 1 e 30 Hz, sia quello che maggiormente incide sulla genesi di picco-

lissime deformazioni delle fibrocartilagini intervertebrali, specie a livello lombare, influendo, come fattore concausale, nella determinazione di lesioni a tipo artrosico [2].

Le vibrazioni maggiormente lesive per il sistema neuromuscolare tendono generalmente ad essere caratterizzate da frequenze più elevate rispetto a quelle che inducono danni di tipo vascolare. Frequenze comprese fra 100 e 150 Hz determinano una riduzione dell'attività elettromiografica che, sintomatologicamente, si accompagna ad una sindrome del tunnel carpale, raramente persistente; vibrazioni di frequenza compresa fra i 60 ed i 240 Hz provocano, dopo esposizione prolungata, una diminuzione della sensibilità delle dita con sindrome del «dito morto» e più raramente fenomeni di iperidrosi, ipoestensione delle dita della mano, pachidermia palmare, retrazione dell'aponevrosi palmare, tenosinoviti, epicondiliti e, nei casi più gravi, malattia di Dupuytren. Vibrazioni con frequenza superiore a 600 Hz causano quasi esclusivamente lesioni di tipo muscolare [22, 24-26].

Le vibrazioni a bassa frequenza interferiscono sulla funzione dell'apparato vestibolare determinando, come già accennato, fenomeni di chinetosi, vertigini e disturbi del senso posturale del corpo. Il campo di frequenze maggiormente interessato è ordinariamente compreso fra 1 e 20 Hz [27].

Per quanto riguarda l'apparato digerente, l'azione delle vibrazioni è analoga a quella espletata dal rumore, determinando inibizione della secrezione e disturbi della motilità gastrica, principalmente in senso discinetico [28].

Le vibrazioni caratterizzate da un livello energetico di sufficiente entità, agiscono sul sistema diencefaloipofisario attraverso le sensazioni trasmesse dai barocettori cutanei o per effetto di risonanza delle ossa
del cranio e della massa encefalica; esse determinano,
analogamente alle stimolazioni acustiche, una serie di
reazioni di allarme con riduzione del tasso glicemico,
aumento delle catecolamine urinarie e variazioni dei
livelli serici di adrenalina, nor-adrenalina, fosfatasi
ed aldolasi [29–31].

La esposizione prolungata dei lavoratori all'azione delle vibrazioni può infine facilmente provocare una diminuzione della performance e quindi del rendimento, può favorire la insorgenza di fatica usurante e, indipendentemente dall'entità del livello sonoro esistente, può aggravare le lesioni uditive determinate dal rumore stesso [9, 14, 32].

CRITERI DI VALUTAZIONE E LIMITI DI ACCETTABILITÀ.

Le modalità di valutazione degli effetti delle vibrazioni sull'uomo possono essere riferite a differenti criteri di commisurazione, secondo la classificazione che di seguito si propone:

- criterio di opinione, basato sulla adozione di scale di risposta soggettive, utilizzate in sondaggi statistici su gruppi significativi di individui esposti;
- criterio della efficienza e del rendimento, legato alla valutazione oggettiva delle variazioni di risposta a test psicologici, attitudinali, di comportamento, ecc. ed a quella delle prestazioni quali-quantitative nella esecuzione di un determinato lavoro;

- criterio fisiologico che fa riferimento alla valutazione di variabili fisiologiche legate direttamente all'azione di sollecitazioni meccaniche su apparati o sistemi del corpo umano o alla modificazione dello stato cenestesico generale;
- criterio epidemiologico, basato sulla individuazione delle correlazioni fra l'esposizione alla causa ledente e l'eventuale verificarsi di effetti di danno o l'insorgere di quadri patologici specifici [16].

Le differenti modalità di risposta che sono ottenibili adottando ciascuno dei criteri di valutazione sopra riportati, sono essenzialmente legate al livello delle vibrazioni, alla loro frequenza ed al tempo di esposizione ad esse, nonché al punto di applicazione della sollecitazione meccanica sul corpo del soggetto esposto ed alla estensione della superficie corporea di questo interessata.

In particolare, per quanto riguarda il criterio di opinione, si possono ricavare una serie di curve di isosensazione correlate con il livello di accelerazione e con le frequenze del fenomeno vibratorio.

Secondo Miwa, è possibile definire una scala di equivalenza di sensazione, sulla base di risposte soggettive, ottenute comparando gli effetti di sollecitazioni vibratorie differenti. Con questo criterio sono state tracciate curve di isosensazione (VGL = Vibration Greatness Level) relative a sollecitazioni sia orizzontali che verticali (Fig. 1).

Le curve VGL sono analoghe alle curve isofoniche che vengono utilizzate nel campo della psicoacustica e,

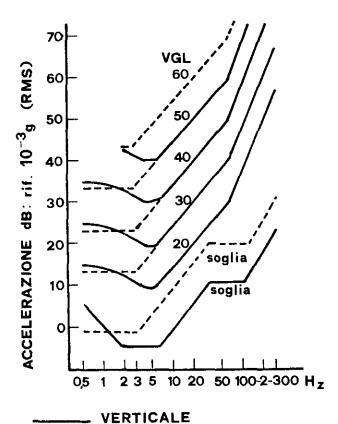


Fig. 1. – Curve di egual sensazione per vibrazioni sinusoidali esercitate sull'intero corpo in direzione verticale ed orizzontale

[34].

convenzionalmente, alla frequenza di 20 Hz, la scala del livello di accelerazione vibratoria (VAL) corrisponde alla scala del VGL.

I valori di VGL non possono essere sommati algebricamente fra loro ma, in analogia con quanto si verifica in campo acustico, si deve adottare una scala di conversione che consenta di effettuare questo tipo di operazioni.

La Tab. 2 mostra le correlazioni tra la scala VGL e la scala VG (Vibration Greatness), ottenuta analogamente alla scala dei son, assumendo 1 VG = 40 VGL. Qualora, ad esempio, si debbano sommare 10 VGL + 15 VGL, ricorrendo ai valori di conversione della tabella sopracitata, si otterrà: 0,13 + 0,18 = 0,31 VG = 0,31 × 40 = 12,4 VGL [33, 34].

Tabella 2. – Tavola di conversione fra valori di VGL e valori di VG [34].

VGL	VG	VGL	VG	VGL	VG
5	0,09	30	0,50	55	2,20
6	0,10	31	0,54	56	2,35
7	0,11	32	0,58	57	2,45
8	0,11	33	0,62	58	2,57
9	0,12	34	0,66	59	2,70
10	0,13	35	0,71	60	2,88
11	0,14	36	0,76	61	3,05
12	0,15	37	0,81	62	3,23
13	0,16	38	0,87	63	3,40
14	0,17	39	0,93	64	3,58
15	0,18	40	1,00	65	3,75
16	0,20	41	1,05	6 6	3,94
17	0,21	42	1,12	67	4,17
18	0,23	43	1,17	68	4,40
19	0,24	44	1,23	69	4,59
20	0,25	45	1,30	70	4,90
21	0,27	46	1,37	71	5,14
22	0,29	47	1,45	72	5,43
23	0,31	48	1,51	73	5,73
24	0,33	49	1,62	74	6,03
25	0,35	50	1,70	75	6,37
26	0,38	51	1,78	76	6,72
27	0.41	52	1,88	77	7,08
28	0,44	53	2,00	78	7,46
29	0,47	54	2,10	79	7,87
				80	8,32

Per esposizioni a vibrazioni di durata non superiore a 10 minuti, i limiti di VGL sono i seguenti:

- limite massimo di accettabilità: 55 VGL (per vibrazioni verticali) e 65 VGL (per vibrazioni orizzontali);
- livello di fastidiosità: 40 VGL (per vibrazioni verticali) e 50 VGL (per vibrazioni orizzontali).

Per esposizioni più prolungate, fino ad un massimo di 500 minuti, i limiti di ammissibilità dipendono dal

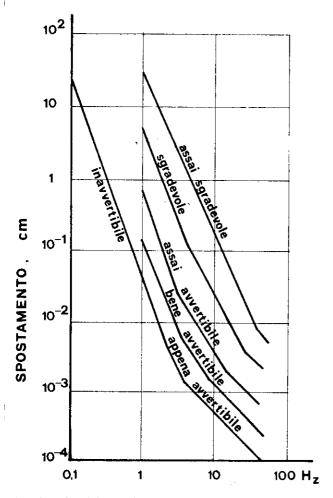


Fig. 2. – Sensibilità dell'organismo umano alle vibrazioni [35].

tempo di esposizione, in rapporto con il livello VGL, secondo la seguente relazione:

$$log_{10} T = 0.088 (VGL) + C$$

nella quale C, qualora si faccia riferimento al limite massimo di accettabilità, assume il valore di 5,84 per vibrazioni verticali e di 6,72 per vibrazioni orizzontali.

Se riferiti invece al livello di fastidiosità, i valori di C sono rispettivamente 4,52 (vibrazioni verticali) e 5,40 (vibrazioni orizzontali) [34].

Un altro criterio di valutazione del grado di sensibilità dell'uomo alle vibrazioni è quello di Reiher e Meister (Fig. 2) che mette in relazione la frequenza delle vibrazioni con la loro ampiezza attraverso curve di isosensazione [35].

Appare evidente come alla frequenza di 1 Hz sia pressocché inavvertibile la vibrazione che determina sul corpo dei soggetti esposti uno spostamento di cm 0,04, mentre per la stessa frequenza diventa assai avvertibile uno spostamento di cm 0,6 e sgradevole uno spostamento di poco meno di cm 4. Analogamente, lo stesso spostamento di cm 0,04 diventa assai sgradevole quando viene prodotto da vibrazioni con frequenza di 20 Hz.

Nel caso di impulsi verticali e ripetuti, esercitati su individui in piedi o sdraiati, i livelli di isosensazione sono funzione del massimo spostamento (da picco a picco) e della durata del tempo di risalita dell'impulso (Fig. 3) [35, 36].

Un altro criterio di valutazione per realizzare una scala della sensibilità soggettiva alle vibrazioni verticali estese all'intero corpo, studiata con particolare riferimento ai mezzi di trasporto pubblici, è quella di Jones e Saunders, basata sulla identificazione di curve di isosensazione denominate VIC (Vibration Contours), le quali sono state individuate numericamente assumendo, per convenzione, la scala dei VIC uguale alla scala delle accelerazioni alla frequenza di 20 Hz (Fig. 4).

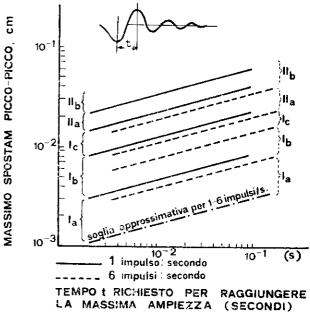


Fig. 3. – Criterio di tolleranza per impulsi ripetuti (da Reiher-Meister). la: soglia di percezione; lb: zona di percezione agevole; lc: zona di forte percezione fastidiosa; Ila: zona di percezione spiacevole, potenzialmente pericolosa; Ilb: zona di percezione estremamente spiacevole, sicuramente pericolosa. (A sinistra per 1 impulso/s, a destra per 6 impulsi/s) [35, 36].

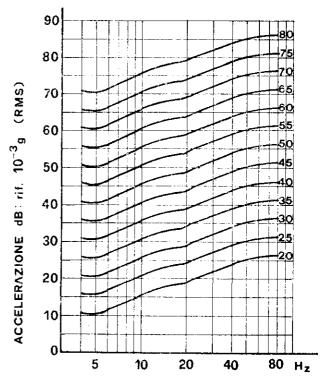
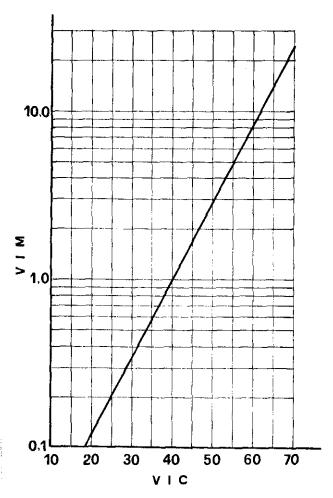


Fig. 4. - Curve di isosensazione (VIC) per soggetti seduti [39].

In sostanza, la scala dei VIC risulta costruita analogamente a quella precedentemente descritta dei VGL, differendone soltanto per la particolare conformazione delle curve di isosensazione.

Allo scopo di individuare una corrispondenza tra la reazione soggettiva ed il valore oggettivo del livello di stimolazione vibratoria, è stata introdotta una ulteriore scala di valutazione (analoga a quella dei VG) denominata VIM (Vibration Magnitude scale); convenzionalmente è stato assunto 1 VIM = 40 VIC.



Frg. 5. – Relazione fra scala del livello di stimolazione vibratoria (VIM) e curve di isosensazione (VIC) [39].

Nella Fig. 5 vengono riportate le corrispondenze esistenti tra le due scale di valutazione suddette. Dal punto di vista pratico, la scala dei VIM costituisce uno strumento utile per comparare i livelli delle stimolazioni vibratorie di differenti frequenze con una scala rappresentativa delle reazioni soggettive alle vibrazioni. La relazione analitica tra VIM e VIC è espressa da:

$$VIM = 2.9^{\frac{V10.40}{10}}$$

La Tab. 3 rappresenta un mezzo di confronto tra i valori di VIC ed i valori di VIM, posti in relazione con i corrispondenti livelli di valutazione soggettiva delle vibrazioni, riferiti a persone sedute in mezzi di trasporto pubblici e con i relativi tempi di viaggio accettabili [37–39].

Tabella 3. – Valori di VIC e di VIM rapportati alla qualità della sensazione nei soggetti esposti ed alla tollerabilità delle vibrazioni nei mezzi di trasporto pubblici [38].

			-
VIC	VIC VIM Valutazione soggettiva della vibrazione		Valutazione del tempo massimo di accettabilità riferita al trasporto pubblico
10		Percepibile	
35	0,59	Non fastidiosa	Accettabile per viaggi di 1 ora o più
40	1,00	Soglia di disagio	Accettabile per viaggi fino a ½ ora
45	1,70	Fastidiosa	Accettabile solo per viaggi brevi (meno di 5 minuti)
50	2,90	Molto fastidiosa	Inaccettabile per mezzi di trasporto
55	5,00	Molto disturbante	Inaccettabile per mezzi di trasporto

Un ulteriore criterio di valutazione dei limiti di accettabilità della esposizione alle vibrazioni, che si discosta alquanto dai precedenti, è quello proposto da Janeway e studiato per utenti di mezzi di trasporto, in base al quale il livello di sensazione soggettiva nei tre intervalli 1–6 Hz, 6–20 Hz e 20–60 Hz, dipende rispettivamente dalla derivata della accelerazione rispetto al tempo (il cosiddetto jerk), dalla accelerazione e dalla velocità. Analiticamente il livello di percezione è espresso da un indice:

$$J = s f^x$$

dove: s è lo spostamento in pollici;

f è la frequenza in Hz;

x è un esponente pari rispettivamente a 3, a 2 ed a 1 negli intervalli di frequenza precedentemente indicati.

Con il criterio di valutazione proposto da questo Autore e adottato negli Stati Uniti anche dalla SAE (Society of Automotive Engineers), il limite di comfort per frequenze comprese fra 1 e 6 Hz, è pari a 2 J = 1265 cm/s³; per frequenze fra 6 e 20 Hz, scende a 0,33 J = 29,4 cm/s²; per frequenze comprese fra 20 e 60 Hz, infine, il limite di comfort assume il valore di 0,017 J pari a 1,05 cm/s.

Per le basse frequenze viene considerato J=2,8 come soglia del disagio e J=9,6 come soglia di passaggio dall'estremo disagio al danno.

Il criterio di Janeway ha successivamente ispirato gli orientamenti adottati per la redazione delle norme ISO per la valutazione degli effetti delle vibrazioni sull'uomo [40].

Un programma di ricerche sperimentali per valutare il grado di disagio globale derivante da vibrazioni a carattere casuale, a largo spettro e con direzione multi-assiale, è stato elaborato da Dempsey e Leatherwood nel 1975, con specifico riferimento alle vibrazioni generate dagli autoveicoli.

Il grado di disagio globale (DISC_{tot}) è espresso analiticamente, secondo questi Autori, da:

$$DISC_{tot} = DISC_{max} + F (\sum DISC - DISC_{max})$$

dove DISC rappresenta il grado di disagio soggettivo associato al livello di accelerazione relativo ad una particolare banda di frequenza ed F è un fattore di correzione ricavato sperimentalmente [41].

Già nel 1958, tuttavia, Dickmann aveva elaborato un criterio di valutazione del livello di sensazione soggettiva, relativo a vibrazioni impresse all'intero corpo, dovute sia a sollecitazioni verticali che a sollecitazioni orizzontali, comprese nel campo di frequenze da 0 a 200 Hz.

Il criterio di Dickmann è basato sulla individuazione di una scala di reazioni soggettive individuate da una serie di successivi campi di valori di un coefficiente «K», correlato con lo spostamento e con la frequenza delle vibrazioni stesse (Tab. 4).

Tabella 4. – Sistema per valutare e classificare le reazioni soggettive nei lavoratori esposti [43, 44].

К	Classificazione	Effetti sul lavoro	
0,1	soglia di percezione	nessun impedimento	
0,1-0,3	appena apprezzabile, dif- ficilmente sgradevole, facilmente tollerato	nessun impedimento	
0,3–1	chiaramente apprezzabi- le, moderatamente sgradevole se protrat- to per ore	nessun impedimento	
1–3	fortemente percepito, notevolmente sgrade- vole se protratto per ore	crea impedimento al lavoro, che rima- ne possibile	
3–10	sgradevole e molesto, non tollerabile a lun- go (esposizione mas- sima = 1 h)	netto impedimento al lavoro, che è appena possibile	
10-30	molto molesto, il tem- po di esposizione va ridotto a 10 minuti	difficilmente possibi- le il lavoro	
30–100	estremamente molesto, molto diffici tempo di esposizione cuzione de limitato ad un minuto		
sopra 100	intollerabile	nessuna prestazione è possibile	

Il valore di K viene calcolato secondo differenti modalità in relazione al campo di vibrazioni prese in considerazione; per vibrazioni verticali fino a 5 Hz, K è uguale al prodotto dello spostamento « s » per il quadrato della frequenza « f » ($K=sf^2$), per frequenze fra 5 e 40 Hz, K=5 sf, mentre per frequenze fra 40 e 200 Hz, K viene determinato soltanto dall'entità dello spostamento (K=200 s); nel caso di vibrazioni orizzontali, invece, i valori di K per i campi di frequenza sino a 2 Hz o compresi fra 2 e 25 Hz e fra 25 e 50 Hz sono rispettivamente pari a 2 sf, a 4 sf ed a 100 sf.

Qualora si verifichino simultaneamente vibrazioni sia prizzontali che verticali, distribuite su differenti bande di frequenza, a ciascuna delle quali corrisponda un coefficiente K_i, il valore risultante di K è espresso da:

$$K = \sqrt{K_1^2 + K_2^2 + K_3^2 \dots}$$

Il criterio di Dickmann ed in un certo modo quello di Reiher e Meister sono alla base della successiva normativa VDI [42-44].

NORMATIVA SULLA ESPOSIZIONE DELL'UOMO ALLE VIBRAZIONI.

A) Vibrazioni trasmesse all'intero corpo.

Una delle prime norme riguardanti i limiti di esposizione dell'intero corpo alle vibrazioni, fu emanata nel 1955 dal Ministero della Sanità Sovietico (191–55) ed i relativi valori massimi di accettabilità sono riportati nella Tab. 5.

Le frequenze prese in considerazione vanno da valori al di sotto di 3 Hz fino a 100 Hz ed i sopraccennati limiti di accettabilità, espressi come spostamento, velocità ed accelerazione, tendono a decrescere progressivamente per i due primi parametri, in relazione all'incremento delle frequenze di vibrazione, mentre hanno un andamento opposto per la accelerazione.

È da notare tuttavia, che il campo di frequenze più disturbante varia con il variare del parametro di misura impiegato, essendo compreso fra 50 e 75 Hz qualora la vibrazione sia espressa come spostamento (limite

Tabella 5. – Standard igienici URSS per vibrazioni SN 191–55 (massimo livello consentito per vibrazioni trasmesse a tutto il corpo) [45].

FREQUENZA (Hz)	Spostamenti (cm)	Velocità (cm/s)	Acce- lerazione (cm/s ¹)	
≥ 3	0,06-0,04	1,12-0,76	22-14	
3–5	0,04-0,015	0,76-0,46	14-15	
5–8	0,015-0,005	0,46-0,25	15~13	
8–15	0,005-0,003	0,25-0,28	13-27	
15-30	0,003-0,0009	0,28-0,16	27-32	
30-50	0,0009-0,0007	0,16-0,22	32-70	
50-75	0,0007-0,0005	0,22-0,23	70-112	
75–100	0,0005-0,0008	0,23-0,19	70-112	

Tabella 6. – Valori limite di esposizione alle vibrazioni per posti di lavoro fissi (SN 245-71 URSS) [46].

FREQUENZA NOMINALE	Velocità ammissibile di vibrazione			
DELLA BANDA DI OTTAVA (Hz)	Velocità; RMS (cm/s)	Livello: RMS (dB)		
2	1,12	107		
4	0,50	100		
8	0,20	92		
16	0,20	92		
31,5	0,20	92		
63	0,20	92		

di accettabilità 0,0007-0,0005 cm), fra 30 e 50 Hz ove la si valuti come velocità (limite di accettabilità 0,16-0,22 cm/s) e fra 5 e 8 Hz nel caso che venga misurata come accelerazione (limite di accettabilità 15-13 cm/s²) [45].

Alcuni anni dopo, nel 1971, lo stesso Ministero della Sanità dell'URSS ha fissato ulteriori limiti di ammissibilità per esposizione alle vibrazioni, relativi a posti di lavoro fissi, escludendo pertanto i veicoli industriali ed in genere i mezzi mobili da cantiere. Nella Tab. 6 sono riportati i suddetti limiti per bande di ottava definite dalla frequenza nominale.

Le bande di ottava cui si fa riferimento, sono quelle definite dalle frequenze nominali 2-63 Hz ed i limiti di accettabilità sono indicati come velocità, espressa in valori assoluti (cm/s) o come livello (dB). Tali limiti il cui valore numerico diminuisce con l'incremento delle frequenze di emissione del fenomeno vibratorio, per le bande di ottava definite dalle frequenze nominali da 2 a 8 Hz, si mantengono successivamente costanti fino alla banda di ottava dei 63 Hz e sono compresi fra 1,12 e 0,20 cm/s e fra 107 e 92 dB [46].

Per quanto riguarda la normativa italiana l'unico riferimento attinente alla tutela dei lavoratori, per quello che concerne gli effetti delle vibrazioni, è contenuto nel D.P.R. n. 303 del 1956, riguardante le « Norme Generali per l'Igiene del Lavoro ». L'art. 24 di questa legge infatti, impone di adottare tutti i provvedimenti consigliati dalla tecnica per ridurre l'intensità di scuotimenti o vibrazioni eventualmente dannosi alla salute. La tabella delle lavorazioni per le quali vige l'obbligo delle visite mediche preventive e periodiche, annessa alla suddetta legge, prescrive inoltre, visite annuali per i « lavoratori che impiegano utensili ad aria compressa o ad asse flessibile » [47].

Si tratta, come si vede, di raccomandazioni generiche e di norme di medicina preventiva più che di concrete disposizioni di igiene del lavoro.

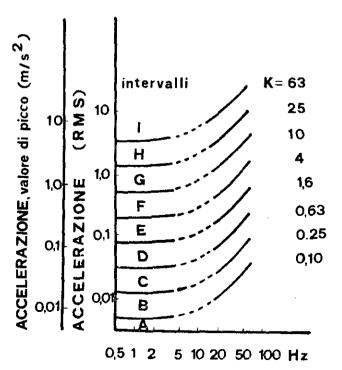


Fig. 6. – Norma VDI 2057: curve di equiscosazione per vibrazioni sinusoidali estese all'intero corpo [48].

Tabella 7. – Percettibilità e tollerabilità delle vibrazioni in funzione del coefficiente K e secondo la VDI 2057 [48].

VALORE DEL COEF- FICENTE K	Intervalli	Percettibilità	Tollerabilità		
63	ı	; !	Nessuna		
	1-1	!	Brevi percorsi in treno o in automezzo		
25	G	Molto elevata	Lavoro muscolare con lun- ghe interruzioni, lunghi percorsi in treno o in automezzo		
10 !.	F	 - 	Lavoro muscolare con bre vi interruzioni		
1,6	E	Forte	Lavoro muscolare senza in- terruzioni		
0.63	D	Buona	Possibile permanenza con lunghe interruzioni		
0.25	С	Mediocre	Possibile permanenza con brevi interruzioni		
0.1	B	Scarsa Soglia Nulla	Assoluta		

Nel 1963 la VDI (Verein Deutscher Ingenieure: Associazione Tedesca degli Ingegneri) ha emanato la norma 2057, relativa alla valutazione dell'effetto delle vibrazioni sull'intero corpo, basandosi sulle precedenti esperienze di Dickmann [43].

Il criterio VDI si fonda sulla individuazione di curve di equisensazione, relative ad una successione di progressivi valori di un coefficiente « K», rappresentativo di particolari livelli di percezione.

Nella Fig. 6 sono riportate le curve di equisensazione indicate dalla VDI 2057 per vibrazioni sinusoidali estese all'intero corpo.

I valori del coefficiente « K » riferiti a progressivi intervalli di livello di percezione delle vibrazioni ed ai corrispondenti campi di tollerabilità, sono riportati nella Tab. 7, nella quale fra i campi di equisensazione che corrispondono alla completa mancanza di tollerabilità (al di sopra del valore 63 del coefficiente K) ed alla tollerabilità assoluta (al di sotto del valore 0,1 del coefficiente K) sono presi in considerazione i viaggi su treni o su autoveicoli, la attività lavorativa e la semplice permanenza in ambienti o posti di lavoro sottoposti alla azione di vibrazioni [48].

Nel 1967 il Ministero della Sanità Cecoslovacco con il Regolamento di Igiene n. 33, ha stabilito le norme relative alla tutela della salute contro gli effetti nocivi delle vibrazioni ed in particolare sono stati fissati i limiti di esposizione alle vibrazioni riferiti a sollecitazioni impresse all'intero corpo in posizione eretta o seduta ed alle sollecitazioni trasmesse attraverso oggetti in contatto diretto col tronco o con la testa durante il lavoro in posizione distesa o nel corso di viaggi in vagoni-letto.

In questa norma vengono fissati, per bande di ottava, i livelli basali L(a) di sollecitazione, espressi in dB, secondo la:

$$L(a) = 20 \log_{10} \frac{a}{a_0}$$

dove $a_0 = 10^{-6}$ m/s².

I livelli di base suddetti sono riportati nella Tab. 8. I livelli massimi di esposizione L(a), si ottengono apportando ai livelli basali le correzioni indicate nella Tab. 9 attraverso la formula:

$$L(a)_{n} = L(a) + K$$

I fattori K di correzione riportati nelle parti 1) e 2) della Tab. 9 devono essere applicati in modo alternativo e pertanto non possono essere utilizzati contemporaneamente [49].

Nel 1971 anche l'Associazione Francese della Normalizzazione (AFNOR) ha emesso una norma (E 90-40) relativa alla valutazione della esposizione a vibrazioni esercitate sull'intero corpo. Questa norma che si basa su curve di isosensazione, correlate con i relativi campi di tollerabilità, non ha tuttavia avuto esteso riscontro al di fuori del Paese interessato [50].

Rifacendosi alle ricerche effettuate da Janeway [40] la I.S.O. dopo aver emanato una proposta di norma (ISO ITC 108/WG, febbraio 1967) ha pubblicato nel 1974 ed in seconda edizione nel 1978, una «Guida per la valutazione della esposizione umana alla vibrazione sull'intero corpo », seguita da un addendum (DAD 2 del 10 gennaio 1980) relativo alla esposizione alle vibrazioni secondo l'asse verticale nel campo di frequenza da 0,1 a 1 Hz [51, 52].

Esaminando il contenuto della citata Guida ISO S 2631, si constata che essa si riferisce a stimoli vibratori esercitati sull'intero corpo umano attraverso una superficie di appoggio costituita dal pavimento o da un sedile, valutando tali stimoli in base alle tre direzioni anatomiche fondamentali: verticale, laterolaterale ed antero-posteriore. Restano escluse pertanto le vibrazioni applicate a parti specifiche del corpo (testa, mani, dorso, ecc.) e quelle trasmesse integral-

Tabella 8. – Livelli basali della accelerazione di vibrazione L(a) espressi in dB. (Norma di Igiene n. 33, Cecoslovacchia) [49].

FREQUENZA (centro di ottava)	Vibrazioni al corpo in posizione eretta o seduta	Vibrazioni trasmesse alla colonna o al capo	
1	100	100	
2	95	100	
4	95	100	
8	100	100	
16	105	100	
31,5	110	100	
63	115	100	
125	120	100	
250	120	100	
500	120	100	
1000	120	100	

Tabella 9. - Fattori di correzione K da applicare ai livelli basali di Tab. 8 [49].

1) CORREZIONE IN RAPPORTO AL TIPO DI LAVORO.

- più di due ore

Tipo di attività	Correzione (K) in dB
– attività fisica	0
 lavoro mentale di carattere routinario e la- voro fisico che richiede accuratezza e con- 	
centrazione	15
- lavoro mentale impegnativo	25
2) Correzione per il tempo di esposizione durant	E LAVORO.
a) Lavoro ininterrotto e irregolarmente interrotto:	
- fino a 30 minuti	+ 20
– da 30 minuti ad 1 ora	+ 10
- da 1 a 2 ore	+ 5

b) Lavoro regolarmente interrotto:

Durata pause senza vibrazioni	Numero delle pause durante il turno	Correzioni dB
- sino a 2 minutí		0
– da 2 a 10 minuti	meno dí 5 da 5 a 10 più di 10	0 + 5 + 10
– più di 10 minuti	da 1 a 2 da 2 a 5 da 5 a 10 più di 10	+ 5 + 10 + 15 + 20

mente all'intera superficie corporea attraverso un mezzo fluido.

Dal punto di vista quantitativo, la valutazione delle caratteristiche fisiche delle vibrazioni viene effettuata facendo riferimento al valore efficace (RMS) dell'accelerazione, alla frequenza (nel campo da 1 a 80 Hz) ed alla durata della esposizione (in ore o frazioni di ore al giorno).

Non vengono pertanto presi in considerazione fenomeni vibratori a frequenze maggiori di 80 Hz che, pur essendo facilmente smorzati all'interno del corpo umano, possono interessare organi o formazioni anatomiche particolari (occhio, colonna vertebrale, organi addominali, ecc.), né si forniscono chiari riferimenti circa i criteri di valutazione del fattore di cresta (rapporto tra il valore di picco ed il valore efficace), quando le vibrazioni, come si verifica nei casi pratici, non hanno carattere marcatamente sinusoidale.

Bisogna aggiungere che le risposte allo stimolo fisico sono riferite a tre gradi di reazione soggettiva ascrivibili rispettivamente alla efficienza nella esecuzione di compiti, alla conservazione dello stato di salute ed al mantenimento di condizioni di benessere.

Nella esecuzione delle misure utilizzate per accertare se i limiti di tollerabilità per le vibrazioni vengono superati, è necessario stabilire lungo quale direzione le vibrazioni stesse si propaghino nel corpo del soggetto; come già riferito, gli assi considerati

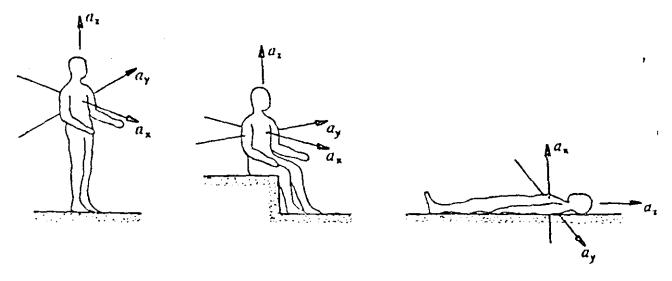


Fig. 7. - Sistema Assi coordinati dell'intero corpo [51].

sono tre: X (dorso-sternale), Y (latero-laterale) e Z (podo-craniale o podiceo-craniale, a secondo che si consideri il soggetto in piedi o seduto).

Dovranno egualmente essere accertate l'intensità delle vibrazioni recepite, espressa come accelerazione, e lo spettro di frequenza delle vibrazioni che sollecitino l'individuo secondo i tre assi ortogonali suddetti la cui origine, secondo la ISO, si colloca in corrispondenza della posizione del cuore (Fig. 7).

Entro il campo di frequenze considerato (1-80 Hz) sono valutate le vibrazioni periodiche o casuali a spettro continuo. In via provvisoria, i limiti fissati dalla ISO possono anche essere riferiti ad eccitazioni continue a tipo di shock, purché comprese entro il medesimo intervallo di frequenze. Restano escluse dal campo di interesse della norma le vibrazioni angolari.

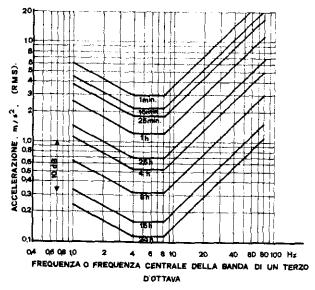


Fig. 8. – Limiti di esposizione a una vibrazione verticale (a₂) in funzione della frequenza e del tempo di esposizione; « limite per mantenimento efficienza lavorativa » (ISO S.2631 E 1978) [51]. Per ottenere:

- limiti di esposizione per effetti di danno: moltiplicare i valori di accelerazione per 2 (+ 6 dB);
- limite al comfort: dividere i valori di accelerazione per 3,15
 (-- 10 dB).

Nelle Figure 8 e 9 sono riportati i limiti di esposizione a vibrazioni verticali ed orizzontali in funzione della frequenza e del tempo di esposizione. Tali limiti sono riferiti al mantenimento dell'efficienza lavorativa in senso generale, restando inteso che limiti più restrittivi potranno essere osservati quando il lavoro sia di natura particolarmente impegnativa sul piano delle prestazioni mentali o dell'abilità manuale.

Per comodità di lettura i limiti di esposizione sono stati altresì riportati, sotto forma di valori numerici, nelle Tab. 10 e 11.

Qualora invece si desideri conoscere il limite massimo ammissibile di esposizione, in funzione della possibile insorgenza di un effetto di danno, sarà necessario moltiplicare i valori riportati nelle Tabelle 8 e 9 per il fattore 2; se al contrario si vorrà ottenere il

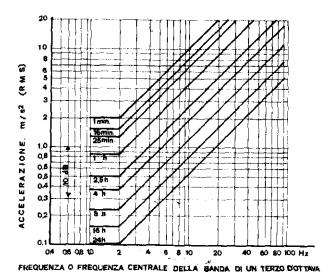


Fig. 9. – Limiti di esposizione ad una vibrazione orizzontale (a_x-a_y) in funzione della frequenza e del tempo di esposizione; « limite per mantenimento efficienza lavorativa » (ISO S 2631 E 1978) [51].

Per ottenere:

- limiti di esposizione per effetti di danno: moltiplicare i valori di accelerazione per 2 (+ 6 dB);
- limite al comfort: dividere i valori di accelerazione per 3,15
 (- 10 dB).

Tabella 10. – Valori limite di affaticamento (RMS) per vibrazioni dirette lungo l'asse Z (podo-craniale o podiceo-craniale) (ISO S 2631 E 1978) [51].

FREQUENZE NOMINALI DI BANDE DI 1/3				Ac	celerazione (m/	s²)			
	Tempo di esposizione								
DI OTTAVA	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	1 h	25 min	16 min	1 min
1,0	0,224	- 0.315	0,63	1.06	1,40	2.36	3,65	4,25	6,60
1,25	0,200	0,280	0,56	0,95	1,26	2,12	3,15	3,75	5,00
1,6	0.180	0.250	0.50	0,85	1,12	1,90	2,80	3,35	4.50
2.0	0.160	0,224	0.45	0,75	1,00	1,70	2,60	3,00	4,00
2.5	0,140	0,200	0,40	0,67	0,90	1,60	2,24	2,65	3,55
3,15	0,125	0,180	0,355	0,60	0,80	1,32	2,00	2,35	3,15
4,0	0,112	0,160	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80
5,0	0,112	0,160	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80
6,3	0,112	0,160	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80
8,0	0,112	0,160	0,315	0,53	0,71	1,18	1,80	2,12	2,80
10,0	0,140	0,200	0,40	0,67	0,90	1,50	2,24	2,65	3,55
12,5	0,180	0,250	0,50	0,85	1,12	1,90	2,80	3,35	4,50
16,0	0,224	0,315	0,63	1,06	1,40	2,36	3,55	4,25	5,60
20,0	0,280	0,400	0,80	1,32	1,80	3,00	4,60	5,30	7,10
25,0	0,355	0,500	1,0	1,70	2,24	3,75	5,60	6,70	9,00
31,5	0,450	0,630	1,25	2,12	2,80	4,75	7,10	8,50	11,2
40,0	0,560	0,800	1,60	2,65	3,55	6,00	9,00	10,6	14,0
50,0	0,710	1,000	2,0	3,35	4,60	7,50	11,2	13,2	18,0
63,0	0,900	1,250	2,5	4,29	5,60	9,50	14,0	17,0	22,4
80,0	1,120	1,600	3,15	5,30	7,10	11,8	18,0	21,2	28,0

Tabella 11. – Valori limite di affaticamento (RMS) per vibrazioni dirette lungo gli assi X e Y (dorso-sternale e latero-laterale) (ISO S 2631 E 1978) [51].

FREQUENZE		<u> </u>	<u>2`</u>	A	celerazione (m/	\$ ²)			
NOMINALI DI BANDE DI 1/3				Ter	npo di esposizi	one			
DI OTTAVA Hz	24 h	16 h	8 h	4 h	2,5 h	l h	25 min	16 min	1 min
					2.45	2.04			2.2
1,0	0,100	0,150	0,224	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2.0
1,25	0,100	0,150	0,224	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,0
1,6	0,100	0,150	0,224	0,355	0,50	0,85	1.25	1,50	2,0
2,0	0,100	0,150	0,224	0,355	0,50	0,85	1,25	1,50	2,0
2,5	0,125	0,190	0,280	0,450	0,63	1,06	1,6	1,9	2,5
3,15	0,160	0,236	0,365	0,560	0,8	1,32	2,0	2,36	3,15
4,0	0,200	0,300	0,450	0,710	1,0	1,70	2,5	3,0	4,0
6,0	0,250	0,375	0,560	0,900	1,25	2,12	3,15	3,75	5,0
6.3	0,316	0,475	0,710	1,12	1,6	2,65	4,0	4,75	6,3
8,0	0,40	0,60	0,900	1,40	2,0	3,35	6,0	6,0	8,0
10,0	0,50	0,75	1,12	1,80	2,5	4,25	6,3	7,5	10
12,5	0,63	0,95	1,40	2.24	3,15	5,30	8,0	9,5	12,5
16,0	0,80	1,18	1,80	2,80	4,0	6,70	10	11,8	16
20,0	1,00	1,50	2,24	3,55	6,0	8,6	12,5	15	20
25,0	1,25	1,90	2,80	4,50	6,3	10,6	16	19	25
31,5	1,60	2,36	3,55	5,60	8,0	13,2	20	23,6	31,5
40,0	2,00	3,00	4,50	7,10	10,0	17,0	25	30	40
50,0	2,50	3,75	5,60	9,00	12,5	21,2	31,5	37,5	50
63,0	3,15	4,75	7,10	11,2	16,0	26,5	40	45,7	63
80.0	4.00	6,00	9,00	14,0	20	33.5	50	60	80

limite di comfort, i valori stessi dovranno essere divisi per il fattore 3,15.

Qualora i valori di accelerazione misurati risultino superiori a quelli indicati nelle tabelle per un determinato tempo di esposizione, sarà necessario ridurre proporzionalmente i tempi di esposizione del soggetto preso in esame, fino a raggiungere valori consentiti; in alternativa, analogamente a quanto si verifica per il rumore, dovrà essere diminuita l'intensità delle vibrazioni cui è sottoposto il soggetto.

È comunque da tener presente che i limiti precedentemente indicati devono essere ritenuti validi per soggetti in buone condizioni di salute e che, ad ogni modo, non sono consigliabili esposizioni alle vibrazioni superiori alle otto ore al giorno.

In via generale, la procedura da seguire per valutare la esposizione alle vibrazioni dovrebbe essere basata sulla commisurazione separata di ciascuna componente di frequenza e sul successivo confronto dei singoli valori ottenuti con i rispettivi limiti (a_x, a_y, a_z) ammissibili per la frequenza nominale della banda presa in considerazione.

Questa procedura risulta in pratica lunga e non sempre facilmente realizzabile, soprattutto quando il fenomeno vibratorio presenta il carattere della aleatorietà, subendo, sia per ampiezza che per conformazione spettrale, sensibili variazioni nel tempo.

Pertanto, ai fini di una diretta verifica della dinamica delle vibrazioni nel loro complesso e per seguire istante per istante le variazioni che esse subiscono nel tempo, diviene necessario ricorrere a sistemi di valutazione globale, nei quali l'effetto concorrenziale delle singole componenti spettrali viene ricondotto ad un solo valore rappresentativo da assumersi come livello istantaneo globale del fenomeno esaminato.

Questa commisurazione può essere resa possibile ricorrendo ad una mediazione pesata delle componenti per bande di frequenza, da realizzarsi dal punto di vista strumentale, con un banco di filtri di ponderazione che abbiano caratteristiche di attenuazione tali che i segnali di risposta in frequenza si conformino alle curve rappresentative dei limiti di esposizione a_x , a_y , a_z , riportate nelle Figure 8 e 9. In tal modo potranno ottenersi valori numerici globali, per tutto lo spettro di frequenza (1–80 Hz) a_{xw} , a_{yw} , a_{zw} , i quali potranno poi confrontarsi con i livelli ammissibili, che in questo caso corrispondono ai tratti orizzontali dei grafici rappresentativi dei limiti di esposizione riportati nelle suddette figure.

Questo metodo di ponderazione, proposto dalle note annesse allo Standard ISO 2631, presenta il vantaggio di fornire, come risultato, un solo numero quale indice rappresentativo del livello di esposizione dell'uomo alle vibrazioni, con procedura assai più rapida, soprattutto qualora si esaminino vibrazioni a spettro piuttosto largo o ad andamento casuale. I valori limite, anche questa volta, come già si è visto per i criteri di trasferimento utilizzati per passare dalla riduzione dell'efficienza lavorativa alla possibile insorgenza di un danno o al mantenimento del comfort, sono indicati in maniera piuttosto semplicistica, utilizzando i valori più bassi delle famiglie di curve riportate nelle Fig. 8 e 9 invece di far riferimento a dati sperimentali concreti.

Bisogna anche considerare il caso in cui le vibrazioni si manifestino sull'uomo simultaneamente in più direzioni. In tale evenienza, mancando ancora più det-

tagliate informazioni circa l'azione sui soggetti esposti di vibrazioni multiassiali, si ritiene che la procedura più corretta, allo stato attuale della ricerca, sia quella di esaminare separatamente le vibrazioni componenti e di verificare la corrispondenza ai rispettivi limiti.

Un altro problema che interessa ai fini della valutazione della esposizione dell'uomo alle vibrazioni, è quello relativo alla durata del fenomeno.

Se la esposizione è continua e di livello costante durante il periodo considerato, la individuazione delle intensità massime ammissibili in base alla durata di esposizione è facilmente valutabile attraverso i diagrammi rappresentativi o le tabelle precedentemente citate. Quando invece si verifichino esposizioni con livelli di accelerazione variabili apprezzabilmente nel tempo, è possibile scomporre il tempo totale T di esposizione in tempi parziali t_i nei quali si verificano le diverse classi di livello A_i, e quindi può calcolarsi, attraverso una semplice procedura di sommatorie ponderate un « tempo di esposizione equivalente » che dovrà poi essere confrontato con i limiti di ammissibilità più volte citati [51].

I limiti indicati nella ISO S 2631 trovano corretta applicazione in riferimento alle esposizioni che si verifichino durante le attività lavorative o all'interno dei mezzi di trasporto, ma non possono essere utilizzati convenientemente per valutazioni del disturbo negli edifici per uso abitativo, o per uffici, scuole, ospedali ecc. Nel 1975 pertanto è stato redatto, da parte del Comitato 108, Sottocomitato 4 della ISO, un progetto di emendamento della ISO S 2631/74 che riguarda in particolare i limiti di accettabilità per esposizione alle vibrazioni sull'intero corpo di soggetti all'interno di edifici di civile abitazione, di uffici, ospedali, o di costruzioni adibite ad attività ricreative o terziarie in genere.

Il progetto di modifica della ISO S 2631 si applica esclusivamente alle vibrazioni meccaniche trasmesse ai soggetti esposti da superfici solide secondo gli assi X, Y e Z precedentemente ricordati.

Analogamente a quanto prescritto per la norma di basc, il campo delle frequenze considerate è compreso tra 1 e 80 Hz e come unità di misura e valutazione

Tabella 12. – Fattori di moltiplicazione per la identificazione delle curve limite di accettabilità per differenti condizioni di impiego degli ambienti secondo la ISO 2631 (proposta di modifica 1975) [53].

LUOGO Per	Vibrazione continua e intermittente	Vibrazione di tipo impulsivo (1-3 eventi giorno)
Sala operatoria f gio	rno 1	1
Sala operatoria { gio Lavorazioni critiche { no	tte 1	1
Abitazioni	rno 2 rte 1,41	16 1,41
Uffici	rno 4 tre 4	128 128
Officine $\left\{\begin{array}{l} \text{gio} \\ \text{no} \end{array}\right.$	rno 8 tte 8	128 128

delle vibrazioni viene assunto il valore RMS della accelerazione.

limiti indicati nella proposta di emendamento della ISO S 2631, redatta nel 1975, tengono conto del tipo di insediamento in esame, del periodo del giorno e del tipo di vibrazione (Tab. 12).

Nella tabella suddetta sono indicati i fattori di moltiplicazione da applicarsi nei casi più comuni, suggerendosi altresì di operare per analogia nei riguardi di edifidi o di attività non specificamente riportate nella ta-

I fattori di moltiplicazione della Tab. 12 hanno consentito di tracciare una serie di curve limite di accettabillità per l'asse Z e per gli assi X e Y riportati nelle Figure 10 ed 11.

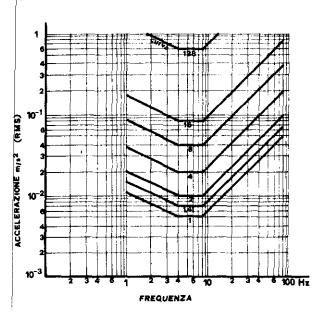


Fig. 10. - Curve limite dell'accelerazione per l'asse Z negli edifici in funzione della frequenza e dei fattori di moltiplicazione ipportati nella Tab. 12, secondo la ISO 2631 (proposta di modifica 1975) [53].

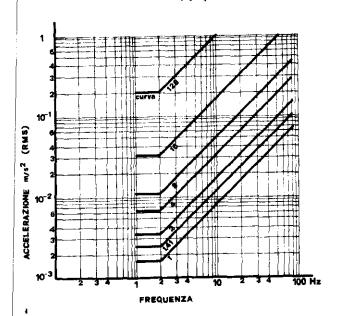


Fig. 11. - Curve limite dell'accelerazione per gli assi X e Y negli edifici in funzione della frequenza e dei fattori di moltiplicazione riportati nella Tab. 12, secondo la ISO 2631 (proposta di modifica 1975) [53].

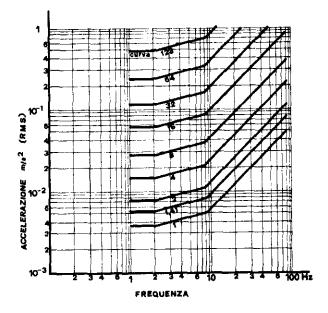


Fig. 12. - Curve limite globali per ciascuno degli assi coordinati riferite alla esposizione alle vibrazioni negli edifici, secondo la ISO 2631 (proposta di modifica 1975) [54].

In particolare, per ogni condizione di impiego degli ambienti esaminati viene indicata la curva limite da prendere in considerazione, in base al fattore moltiplicativo riportato in Tab. 12. Le curve limite rappresentano il contorno da non superare ai fini del rispetto delle condizioni di tollerabilità previste in ogni categoria di edifici considerata.

Le vibrazioni devono essere rilevate in corrispondenza dei punti di ingresso di tali sollecitazioni nel corpo umano e le misure vanno eseguite rilevando il valore RMS della accelerazione perpendicolarmente alla superficie vibrante e assumendo come indice di riferimento la peggiore situazione riscontrata.

Nella Fig. 12 compaiono invece le curve limite globali ottenute combinando le curve di Figure 10 e 11, tali curve sono pertanto valide per ciascuno degli assi coordinati [53, 54].

Se si osservano nel loro complesso i criteri di valutazione indicati dalle varie normative esaminate e quelli considerati da differenti Autori, si deduce che non esiste, nel campo della valutazione degli effetti delle vibrazioni sull'uomo, una uniformità di vedute, né per quanto riguarda le condizioni di riferimento, né per quanto attiene alla metodologia di misurazione.

Basti tenere presente che lo stesso Standard ISO 2631, il quale dovrebbe costituire, per l'autorevolezza della fonte di riferimento, il dato più attendibile e sicuro, è invece, per sua stessa ammissione, un documento presentato per « facilitare valutazioni e confronti ottenuti in successive ricerche e per dare una guida provvisoria sulla esposizione umana alle vibrazioni del corpo ».

Tra l'altro è stato osservato che il criterio della ISO di passare dall'uno all'altro grado di reazione con una semplice operazione di incremento o di decremento del limite di esposizione, non sembra corretto in quanto appare arbitrario realizzare, attraverso la semplice introduzione di un fattore moltiplicativo, il passaggio da un limite di efficienza delle prestazioni a limiti di man-

tenimento delle condizioni di salute.

Anche dal punto di vista delle metodologie, sono stati sollevati dubbi e perplessità relativamente ai criteri sperimentali adottati dai compilatori dello Standard ISO 2631 in quanto, i dati riportati nella suddetta guida sono relativi a prove effettuate su soggetti non sufficientemente rappresentativi, soprattutto per quanto riguarda il mondo del lavoro (individui in età giovanile, di sesso maschile, in maggior parte militari, appartenenti comunque a strati sociali privilegiati).

Giova precisare che le osservazioni sopra richiamate non debbono essere interpretate come una critica al documento presentato dalla ISO, ma piuttosto come una segnalazione riguardo ai presupposti limitativi con cui i dati riportati nelle raccomandazioni possono essere utilizzati correttamente [3, 16, 55].

B) Vibrazioni trasmesse alla mano e al braccio.

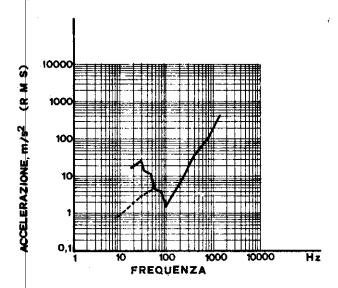
Tra le prime disposizioni riguardanti la valutazione delle vibrazioni trasmesse alla mano, si richiama la Norma Sanitaria SN 191-55 del Ministero della Sanità dell'URSS emanata nel 1955.

Questa norma è riferita all'uso di strumenti pneumatici ed elettrici impugnati direttamente con le mani. I limiti fissati dalla SN 191-55 tuttavia, sono stati successivamente sottoposti a revisione, abbassando i livelli ammissibili per le frequenze inferiori ai 64 Hz.

Nella Fig. 13 sono indicati i limiti di accettabilità riportati nella SN 191-55 e nelle successive modifiche [45, 56].

La disposizione citata è stata superata con la emanazione di nuovi standard (Norma Sanitaria URSS SN 626-66 e GOST 17770-72) che hanno imposto nuovi limiti di accettabilità per frequenze comprese fra 8 e 2000 Hz. I limiti suddetti sono riportati nella Fig. 14 [57, 58].

Per quanto riguarda la Cecoslovacchia, la prima normativa concernente le vibrazioni estese alla mano e al braccio, risale al 1967 con il Regolamento di Igiene n. 33 che prende in considerazione livelli limite compresi fra 8 e 500 Hz, livelli che sono riportati nella Fig. 15. In tale figura la curva più in basso rappresenta



Fro. 13. – Limiti di accettabilità delle vibrazioni trasmesse alla mano ed al braccio secondo la Norma Sanitaria URSS SN 191-55 (linea continua) e modifiche al di sotto di 64 Hz proposte da Andreeva-Galanina (linea tratteggiata) [45, 56].

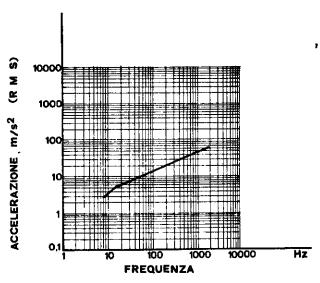


Fig. 14. – Limiti di accettabilità delle vibrazioni per strumenti impugnati a mano secondo la Norma Sanitaria URSS SN 626 – 66 e la GOST 17770–72 [57, 58].

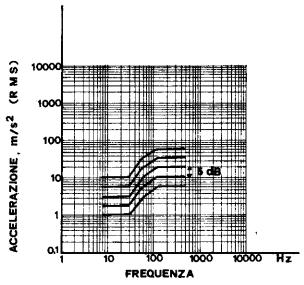


Fig. 15. – Limiti di esposizione alle vibrazioni per bande di ottava, fissati secondo il Regolamento di Igiene n. 33 (1967) Cecoslovacco [49].

i limiti di esposizione per periodi compresi fra le 2 e le 8 ore lavorative, mentre le curve successive si riferiscono ad esposizioni più brevi per le quali le curve limite stesse subiscono rispettivamente translazioni di 5, 10, 15 o 20 dB, in relazione a quanto indicato nella seconda parte della Tab. 9 che fornisce i differenti valori del fattore di correzione K per vibrazioni interessanti l'intero corpo [49].

Nel 1977 le norme cecoslovacche sono state modificate dal nuovo Regolamento di Igiene n. 37 che è simile all'ISO Draft Standard DIS 5349 del 1979. In particolare la norma cecoslovacca prevede che, qualora per una misura globale del livello di vibrazione, si debba ricorrere alla ponderazione dei livelli relativi alle bande di 1/3 di ottava, il limite di accettabilità si identifichi con un valore di 5 dB più alto rispetto al tratto orizzontale della curva ISO DIS 5349 corrispondente ad una esposizione continua alle vibrazioni per un periodo di tempo compreso fra le 4 e le 8 ore [59, 60].

In Giappone un sottocomitato della Associazione di Igiene Industriale ha proposto nel 1970 una serie di limiti per le vibrazioni prodotte da strumenti portatili, fissando i livelli di inamissibilità per esposizioni da 10 a 480 minuti, relativamente a bande di ottava comprese fra 8 e 250 Hz.

Nella Fig. 16 la curva più alta corrisponde al limite di inaccettabilità per una esposizione di 10 minuti e quelle inferiori ai limiti prescritti per esposizioni rispettivamente di 30, 60, 120, 240 e 480 minuti [61].

Il Servizio Svedese per la Sicurezza e la Igiene del Lavoro ha fissato nel 1971 i limiti massimi di vibrazione ammissibili per seghe a motore impugnate manualmente, esprimendoli in termini di forza e fissandoli pari a 80 Newton. Tali limiti sono stati abbassati a 60 N nel 1972 e successivamente a 50 N nel 1973 [62].

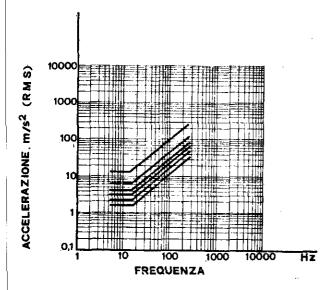


Fig. 16. – Livelli di inaccettabilità della sollecitazione vibratoria secondo l'Associazione Giapponese di Igiene Industriale [61].

Anche in Bulgaria e in Romania sono stati fissati limiti di esposizione alle vibrazioni ed in particolare in Bulgaria è stato vietato di impiegare personale femminile in attività che comportino la esposizione ad alti livelli di vibrazione. Nel 1974, in questo stesso Paese, sono stati fissati limiti relativi all'impiego di strumenti pneumatici impugnati manualmente [63, 64].

L'Istituto Britannico per la Standardizzazione, che già nel 1974 aveva fissato limiti di esposizione alle vibrazioni per l'intero corpo, nel 1975 ha emanato una norma specifica (BSI DD 43) riguardante i limiti di esposizione del sistema mano-braccio alle vibrazioni. Questa norma costituisce un compromesso tra le proposte cecoslovacche e giapponesi e si ispira alle ricerche di von Gierke del 1971, che hanno successivamente portato alla definizione della ISO DIS 5349 [65, 66, 59, 61, 67, 60].

Nella Fig. 17 sono riportati i limiti di esposizione per vibrazioni esercitate sul sistema mano-braccio, relativi al campo di frequenze da 4 a 2000 Hz.

La curva superiore si riferisce ad una esposizione giornaliera non superiore a 400 minuti e quella inferiore ad una esposizione giornaliera fino a 150 minuti.

In base al contenuto del testo di questa norma, l'analisi deve essere effettuata per bande di ottava e

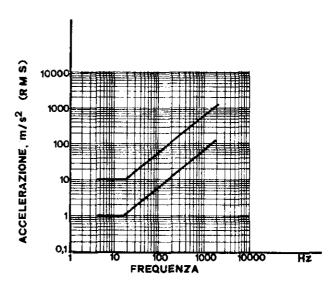


Fig. 17. – Limiti di accettabilità per esposizione a vibrazioni secondo l'Istituto Britannico per la Standardizzazione; BSI DD 43 [66].

i limiti devono essere valutati separatamente per ciascuna banda e per ciascuno dei tre assi ortogonali della mano. Si raccomanda nella norma stessa che, anche nel caso di esposizione non continua, il tempo comulativo di esposizione non debba comunque superare i 400 minuti giornalieri e che per esposizioni inferiori a 150 minuti debbano essere osservati i limiti relativi alla curva più bassa della Fig. 17 [66].

Più recentemente, nel 1977, l'Associazione Canadese per la Standardizzazione ha stabilito limiti di accettabilità per esposizione alle vibrazioni derivanti dall'uso di motoseghe a catena impugnate a mano (Fig. 18). Tali limiti si riferiscono alle frequenze fra 30 e 1000 Hz; alla suddetta norma è annessa una dettagliata procedura per la esecuzione dei test relativi alla misura delle vibrazioni generate dalle seghe a catena stesse [68].

In Francia sono stati introdotti criteri di valutazione delle vibrazioni esercitate sulla mano che dividono lo spettro di frequenza in due campi: al di sopra e al di

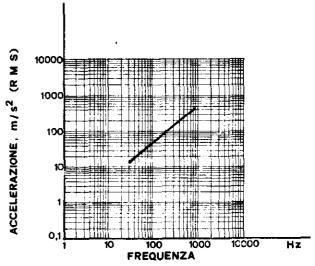


Fig. 18. – Limiti di accettabilità delle vibrazioni trasmesse alla mano dalle motoseghe secondo gli Standard Canadesi: CAN3–Z62.1–M77 [68].

sotto di 50 Hz. I criteri di pesatura per questi due campi di frequenze sono talì che quando si esegue una valutazione globale la curva di pesatura è simile a quella della ISO DIS 5349.

Sono attualmente allo studio criteri di valutazione che modificano i livelli accettabili delle sollecitazioni vibratorie in funzione dei punti di esposizione, qualora la esposizione stessa sia superiore ad un'ora al gior-

no [64].

Nel 1979 il gruppo di lavoro 3 del sottocomitato 4 al Comitato Tecnico 108 della ISO ha pubblicato l'ISO Draft International Standard DIS 5349 relativo a « Principi per la misura e la valutazione della esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano ». Questo progetto di Standard si ispira infatti a precedenti norme cecoslovacche e giapponesi ed ha costituito la conclusione di una serie di studi e di proposte di norme elaborate da un gruppo di lavoro della ISO stessa [60, 59, 34, 61, 67, 69, 70, 71].

Secondo la norma ISO per la valutazione della esposizione a sollecitazioni vibratorie sul sistema manobraccio si devono prendere in considerazione i seguenti fattori: la frequenza delle vibrazioni (da 8 a 1000 Hz), il livello della accelerazione (RMS), la durata della esposizione giornaliera (riferita agli effettivi livelli ed alle relative frequenze che interessano l'effettivo lavoro eseguito dall'operatore), la grandezza e la direzione della forza applicata dalle mani sull'utensile, la posizione del corpo del braccio e delle mani durante il lavoro, il tipo di macchina o di strumento impiegato.

La gravità degli effetti fisiopatologici delle vibrazioni trasmesse alla mano può essere influenzata dalla direzione della sollecitazione vibratoria trasmessa alla mano, dalle condizioni climatiche, dal metodo di lavoro, dalla abilità professionale dell'operatore e ancora da altri cofattori che influiscono sulla modalità di risposta del sistema circolatorio periferico (fumo, farmaci, presenza di inquinanti chimici nell'ambiente di lavoro, ecc.).

Lo Standard della ISO è applicabile a vibrazioni di tipo periodico e di tipo casuale o non periodico; in via provvisoria esso può essere applicato anche a stimolazioni a tipo di shock ripetute con continuità, ma solo nel caso che si producano non meno di sette eccitazioni al secondo.

Per vibrazioni che presentino un carattere marcatamente non sinusoidale, casuale o a larga banda, dovrebbe essere in qualche modo valutato il fattore di cresta (rapporto picco–RMS).

Lo Standard sopracitato è valido per soggetti in buone condizioni di salute, ritenuti capaci di essere adibiti ad attività lavorative che comportino l'impiego di macchine o di attrezzi vibranti per un normale orario di lavoro.

Sono previsti limiti di esposizione nel campo di frequenze da 8 a 1000 Hz, per bande di 1/3 di ottava o di ottava, in riferimento ai massimi valori RMS dell'accelerazione e della velocità, nel caso di esposizione continua giornaliera da 4 a 8 ore (Tab. 13 e 14).

I limiti suddetti sono validi per attività lavorativa ininterrotta o con interruzioni irregolari e debbono essere verificati separatamente per ciascuna banda di frequenza e per ciascuno dei tre assi coordinati connessi con la mano.

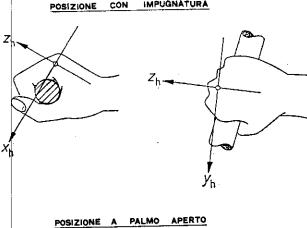
Il sistema dei tre assi coordinati ha origine in corrispondenza della testa del terzo metacarpale; l'asse Z_h corrisponde all'asse longitudinale del metacarpo, l'asse

Tabella 13. – Valori limite (per bande di 1/3 di ottava) della esposizione giornaliera a vibrazioni trasmesse alla mano per periodi compresi fra le 4 e le 8 ore (ISO QIS 5349, 1979) [60].

FREQUENZA NOMINALE PER BANDE DI 1/3 DI OTTAVA	Valore massimo dell'accelerazione (RMS) per ciascun asse	Valore massimo della velocità (RMS) per clascun asse		
(Hz)	(m/s²)	(m/s)		
6,4	0.8	0,016		
8	0.8	0.016		
10	0,8	0,013		
12,5	0,8	0.010		
16	0,8	0,008		
20	1	0,008		
25	1,5	0,008		
31,5	1,6	0,008		
40	2	0,008		
50	2,5	0,008		
.63	3,2	0,008		
80	4	0,008		
100	5	0,008		
125	6,3	0,008		
160	8	0,008		
200	10	0,008		
250	12,5	0,008		
315	16	0,008		
400	20	0,008		
500	25	0,008		
630	31,5	0,008		
800	40	0.008		
1000	50	0.008		

Tabella 14. – Valori limite (per bande di ottava) della esposizione giornaliera a vibrazioni trasmesse alla mano per periodi compresi fra le 4 e le 8 ore (ISO DIS 5349, 1979) [60].

FREQUENZA NOMINALE PER BANDE DI OTTAVA	Valore massimo dell'acelerazione (RMS) per clascun asse	Valore massimo della velocità (RMS) per ciascun asse
(Hz)	(m/s²)	(m/s)
8	1,4	0.027
16	1,4	0,014
31,5	2.7	0.014
63	5.4	0,014
125	10.7	0,014
250	21,3	0.014
500	42,5	0,014
1000	85	0,014



IMPUGNATURA

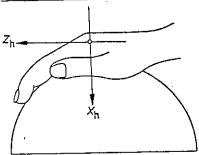


Fig. 19. - Sistema assi coordinati della mano [60].

X_h è diretto verso l'esterno del palmo della mano e l'asse Y_h è ortogonale all'asse X_h (Fig. 19).

Bisogna sottolineare inoltre che i limiti ISO devono essere considerati più come livelli di accettabilità in senso generale, che come indici correlabili con il grado di rischio per l'insorgenza di specifici effetti patogeni nei soggetti esposti.

È stato egualmente notato che i limiti di esposizione relativi a vibrazioni con frequenza superiore a 63 Hz possono essere considerati maggiormente affidabili rispetto a quelli riferiti a frequenze più basse. È da tener presente altresì che tempi di esposizione che eccedano le otto ore giornaliere non dovrebbero comunque essere consentiti, mentre livelli di vibrazione superiori ai valori fissati, purché limitati ad esposizioni brevi ed occasionali, non sono necessariamente causa di danno conclamato; la forza esercitata dalla mano nell'impugnare gli attrezzi inoltre, non dovrebbe superare i 200 Newton, in quanto valori elevati di tale parametro tendono ad aggravare gli effetti lesivi delle vibrazioni.

Per quanto riguarda la esposizione continua o interrotta da pause, è stata definita una serie di fattori di correzione che tengono conto della regolarità o meno delle pause stesse, della durata di queste e del tempo complessivo di esposizione durante un turno di lavoro di otto ore. Questi fattori sono indicati nella Tab. 15; i limiti ammissibili di esposizione, in funzione dei fattori di correzione predetti, sono graficamente riportati nella Fig. 20 nel caso di analisi per 1/3 di ottava e nella Fig. 21 qualora l'analisi venga invece eseguita per bande di ottava.

Non raramente l'attività lavorativa svolta giornalmente può essere costituita da numerosi periodi di

Tabella 15. – Fattori di correzione per esposizione continua a vibrazioni e per esposizione interrotta da periodi di riposo regolari o irregolari nel tempo durante un turno di lavoro di 8 ore (ISO DIS 5349, 1979) [60].

	rotta	ESPOSIZIONE ALLE VIBRAZIONI INT				
TEMPO DI ESPOSIZIONE DURANTE UN TURNO LAVORATIVO (8 ore)	o interrotts : irregolari	Durata d			po senza v di lavoro)	
	Continua o	da più di 0 a 10 min	da più di 10 a 20 min	da più di 20 a 30 min	da più di 30 a 40 min	più di 40 min
Fino a 30 min.	5	5		_		
Da più di 30 min. a 1 ora	4	4	_	_	_	
Da più di 1 ora a 2 ore	3	3	3	4	5	5
Da più di 2 ore a 4 ore	2	2	2	3	4	5
Da più di 4 ore a 8 ore	1	1	1	2	3	4

esposizione con differenti livelli e frequenze di vibrazione; in tal caso riuscirebbe difficile calcolare e sommare le componenti parziali della esposizione stessa e può essere pertanto consigliabile ricorrere ad una integrazione del contenuto energetico accepito durante il periodo considerato. Questa operazione permette di calcolare la accelerazione continua e costante che possiede lo stesso contenuto energetico degli eventi reali che si sono verificati durante il periodo considerato. Il suddetto « livello equivalente continuo e costante » deve essere confrontato con il limite corrispondente alla banda di ottava degli 8 Hz, riferito al tempo di esposizione giornaliero (tratto orizzontale delle curve limite 1-5 della Fig. 21) [60, 64, 72].

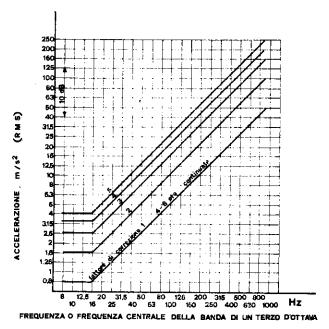


Fig. 20. - Limiti dell'accelerazione in funzione della frequenza e del tempo di esposizione [60]. ISO Draft Standard DIS 5349 -1979, per vibrazioni trasmesse alla mano.

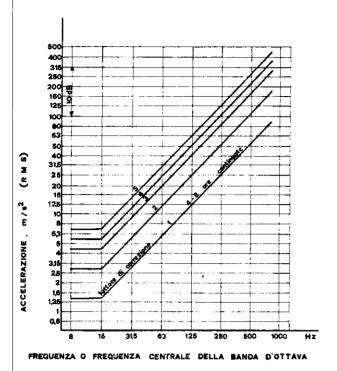


Fig. 21. – Limiti dell'accelerazione in funzione della frequenza e del tempo di esposizione [60]. ISO Draft Standard DIS 5349 – 1979, per vibrazioni trasmesse alla mano.

IL CRITERIO DEL LIVELLO EQUIVALENTE PER LA COMMI-SURAZIONE DELLA ESPOSIZIONE ALLE VIBRAZIONI.

Sulla base delle considerazioni esposte in merito agli effetti delle vibrazioni sull'uomo ed in particolare dell'importanza del prolungarsi dei fenomeni di vasospasmo o del manifestarsi di microlesioni a carattere irreversibile che tendono ad aggravare progressivamente il quadro patologico manifesto, sembra lecito poter ipotizzare l'esistenza di un ben determinato nesso causale fra energia accepita dal soggetto esposto a vibrazioni ed effetti lesivi risultanti, analogamente a quanto già acquisito per quello che concerne il rapporto fra energia sonora impattante ed otolesione [1, 3, 14].

D'altra parte, anche la stessa normativa ISO suggerisce l'opportunità di ricorrere alla valutazione della energia totale accepita durante il tempo di esposizione giornaliero, soprattutto quando l'attività lavorativa è tale da esser composta di numerosi periodi, caratterizzati da differenti livelli di intensità vibratoria.

Partendo da questi presupposti, sembra più rispondente, ai fini della valutazione del rischio di danno, commisurare l'energia totale prodotta dal fenomeno vibratorio durante un determinato periodo di esposizione, anziché i valori istantanei della sollecitazione vibratoria. Questo criterio di valutazione consentirebbe poi di risalire al livello di intensità costante e continua che, nell'intervallo di tempo considerato, possiede lo stesso contenuto energetico del fenomeno preso in considerazione, il che corrisponde a sostituire al reale fenomeno fluttuante dello stimolo vibratorio, un valore virtuale continuo che, obbedendo al principio della eguale energia, potrebbe essere denominato « Livello Equivalente di Vibrazione » (EQLV).

Analiticamente il Livello Equivalente di Vibrazione viene espresso da:

EQLV = 20
$$\log_{10} \sqrt{\frac{1}{T} \int_{0}^{T} \left(\frac{a(t)}{a_{0}}\right)^{2} dt}$$

dove EQLV è espresso in dB, a (t) è il livello della accelerazione, pesato secondo una prefissata scala di ponderazione ed a₀ è il livello di riferimento, posto pari a 10⁻⁶ m/s².

Poiché un fenomeno vibratorio non si presenta quasi mai nella realtà con uno spettro di frequenza discreto, ma si manifesta di norma con uno spettro continuo, è necessario tener conto di tale configurazione ai fini della successiva valutazione degli effetti sull'uomo. A tale scopo deve essere eseguita una analisi di frequenza e si deve quindi procedere al confronto dei valori ottenuti con le curve di accettabilità riportate dalle diverse normative. Questo procedimento è piuttosto indaginoso e difficilmente si presta ad una analisi diretta del fenomeno in tempo reale; si propone pertanto, in alternativa, una procedura sulla quale è in corso una serie di sperimentazioni, consistente nell'impiego di un formatore di spettro con un banco filtri di ponderazione, le cui caratteristiche di attenuazione siano tali che i segnali di risposta in frequenza si conformino a prefissate curve rappresentative dei limiti di esposizione alle vibrazioni. L'uso di un formatore di spettro consente altresì di esaminare singolarmente determinati

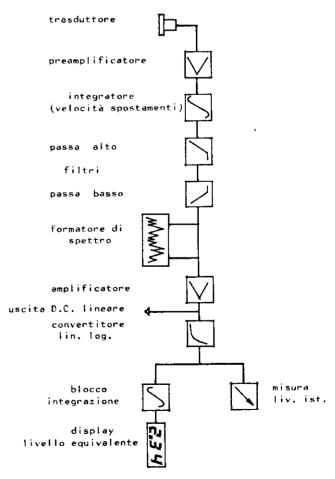


Fig. 22. – Schema a blocchi di strumento per la misura del livello equivalente di vibrazione [1].

campi di frequenza, in relazione all'effetto lesivo specifico che si ricerchi.

Nella Fig. 22 è illustrato uno schema a blocchi della configurazione del sistema da impiegare ai fini della commisurazione del Livello Equivalente di Vibrazione.

Come indicato nello schema, il sistema è basato sulla concatenazione dei seguenti componenti: un trasduttore di vibrazioni (accelerometro) è connesso ad un amplificatore di carica, avente, fra l'altro, lo scopo di rendere possibile l'impiego di cavi di connessione piuttosto lunghi, senza apprezzabili riduzioni di sensibilità. In una successiva fase, il segnale passa ad un integratore, per la misura del segnale stesso oltre che sotto forma di accelerazione, anche come velocità e come spostamento. I successivi filtri passa-alto e passa-basso hanno la funzione di limitare la dinamica di risposta nel campo di frequenze interessanti le analisi da effettuare. Il segnale può quindi passare attraverso un filtro esterno dotato di un formatore di spettro che riproduce una curva di pesatura rispondente alle richieste configurazioni della risposta.

Dopo una appropriata amplificazione, il segnale è rettificato in DC per la eventuale registrazione grafica o per la sua visualizzazione in un display, oppure convertito in forma Lin-Log, per essere direttamente misurato come valore istantaneo. Si è prevista peraltro la possibilità di deviare il segnale verso un blocco di integrazione fornito di circuiti-porta, tarati su prefissati livelli di passaggio. In tal modo il segnale in uscita può essere integrato e letto come « Livello Equivalente di Vibrazione », in analogia a quanto viene fatto in acustica per la commisurazione del « Livello Equivalente Sonoro ».

L'impiego della sopradescritta metodologia, utilizzante un sistema di integrazione per leggere l'ampiezza del segnale in termini di livello continuo equivalente, anziché come una successione di valori istantanei (scarsamente rappresentativi delle condizioni di esposizione, soprattutto quando un soggetto sia sottoposto a sollecitazioni discontinue e variabili), dovrebbe costituire il mezzo di valutazione più efficace e rappresentativo, non solo per fornire elementi di giudizio sulla esposizione dell'uomo alle vibrazioni, ma anche per analizzare ed individuare limiti di ammissibilità da assumersi come elementi di riferimento in sede di elaborazione di normative.

In conclusione, anche se ancora debbono essere chiariti ed approfonditi alcuni punti relativi ai metodi di valutazione degli effetti delle vibrazioni sull'uomo ed in particolare, se debbono essere individuati in modo definitivo i criteri di ponderazione delle singole componenti in frequenza, si ritiene che per quello che riguarda le tecniche di misura, il ricorso a sistemi di integrazione capaci di fornire livelli equivalenti o percentuali accepite rispetto a dosi massime ammesse, costituisca la strada secondo la quale dovranno orientarsi le future metodiche attinenti alla valutazione della esposizione dell'uomo alle vibrazioni.

APPENDICE

Successivamente alla consegna del presente studio alla redazione, il Gruppo di Lavoro WG 3 del Comitato Tecnico ISO No. 108 (Mechanical Vibration and Shock), nel settembre 1981 ha presentato un progetto di aggiornamento della proposta di norma ISO DIS

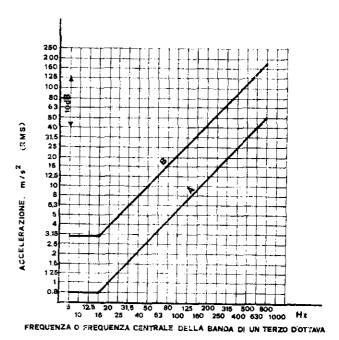
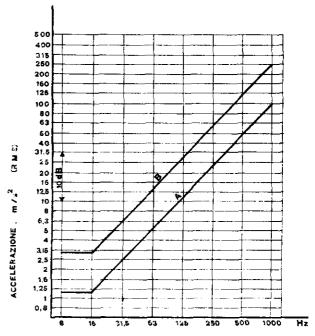


Fig. 23. – Limiti dell'accelerazione in funzione della frequenza e del tempo di esposizione [73]. ISO/TC 108/SG4 WG 3 – 1981, per vibrazioni trasmesse alla mano.



FREQUENZA O FREQUENZA CENTRALE DELLA BANDA D'OTTAVA

Fig. 24. – Limiti dell'accelerazione in funzione della frequenza e del tempo di esposizione [73]. ISO/TC 108/SG4 WG 3 – 1981, per vibrazioni trasmesse alla mano.

5349, relativa ai criteri di misura e valutazione della esposizione alle vibrazioni trasmesse alla mano [71, 73].

Tale gruppo di lavoro, basandosi sui risultati di una serie di ricerche relative alla insorgenza di disturbi vascolari indotti dalle vibrazioni in una popolazione di lavoratori esposta a vibrazioni trasmesse alla mano per periodi di tempo sino a 25 anni, ha individuato limiti di tollerabilità per vibrazioni il cui spettro di frequenza presenti un andamento continuo e per vibrazioni che invece siano caratterizzate da livelli di emissione pre-

valentemente localizzati entro una sola banda di ottava o di terzo di ottava,

I citati limiti di tollerabilità sono stati calcolati assumendo come accettabile quella sollecitazione vibratoria che dopo 25 anni di esposizione può determinare l'inizio di disturbi di tipo vascolare nel 50 % dei lavoratori. I limiti stessi sono stati stabiliti per una durata nominale di 4 ore giornaliere di esposizione e con riferimento ad analisi effettuate per bande di un terzo di ottava e per bande di ottava. (Fig. 23 e 24).

Nel caso di esposizioni per periodi giornalieri differenti da quello nominale, il livello di accelerazione equivalente a 4 ore di esposizione (a_{v4}) può essere calcolato in base alla equazione:

$$a_{w4} = \left(\frac{T}{4}\right)^{\frac{x}{3}} a_{wT}$$

dove: a_{v4} è il livello equivalente di accelerazione in m/s² per 4 ore di esposizione giornaliera;

T è il tempo di esposizione giornaliero effettivo;

a_{vT} è il livello equivalente di accelerazione in m/s² per T ore di esposizione giornaliera.

Nelle Figure 23 e 24 le curve A e B rappresentano i limiti di accettabilità per vibrazioni rispettivamente ad andamento continuo e per vibrazioni con livelli di emissione prevalentemente localizzati su una sola banda. Si precisa che la curva B è riferita a spettri nei quali la componente della banda prevalente presenti un superamento di almeno 20 dB (Fig. 23) o di almeno 15 dB (Fig. 24) rispetto alle bande rimanenti. Qualora lo spettro della vibrazione considerata, pur mostrando un andamento caratterizzato dalla presenza di una banda prevalente, non mostra superamenti pari a quelli indicati in precedenza, il limite di accettabilità sarà rappresentato dallo spazio compreso fra le curve A e B.

Si fa presente inoltre che, mentre era in corso di stampa il presente studio, è stato prodotto dalla ditta Bruel & Kjaer di Naerum (Danimarca), uno strumento di mistara integratore (tipo B & K 2512), fornito di filtri di ponderazione le cui curve di risposta sono conformi ai limiti di esposizione fissati dalle norme ISO 2631/78 (Wbole-Body), ISO 2631 - DAD 2/80 (Motion-Sickness) e ISO/DIS 5349/79 (Hand-Harm).

BIBLIOGRAFIA

- 1. Cosa, M. & Nicoli. M. 1980. Il criterio del livello equivalente come metodica per la commisurazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni. Ottavo Conv. AIA, Torino 22-24 settembre 1980.
- 2. COERMANN, R.R. 1962. The mechanical impedence of the human body in sitting and standing position at low frequencies. Human Factors. 4: 227.
- 3. NICOLI, M. & UGOLINI, F. 1979. Alcune considerazioni in merito alla valutazione dei limiti di esposizione dell'uomo alle vibrazioni. In: Atti del Quarto Convegno Nazionale di Igiene Industriale, Roma, 13-14 dicembre 1979. Ann. Ist. Super. Sanità. 17 (3): 427-430.
- 4. CHECCACCI, L. 1972. Igiene e Medicina Preventiva. Ambrosiana ed., Milano.
- 5. GOLDMANN, D.F. & VON GIERKE, H.F. 1961. The effects of shock and vibration on man. American National Standards Institute. New York.
- 6. GUIGNARD, G. 1966. Effects of vibration on man. J. Env. Sci. 9 (4): 29.
- 7. Guignard, G. 1971. Human sensitivity to vibration. J. Sound & Vib. 15 (1): 11.
- 8. McCallum, R.I. 1971. Vibration syndrome. Brit. j. Industr. Med. 28: 90.
- 9. TAYLOR, W. 1974. The vibration syndrome: Introduction. In: The vibration syndrome. British Acoustical Society, Special Vol. n. 2, Academic Press, London.
- Jones, B. & Rao, B.K.N. 1975. Human comfort in relation to sinusoidal vibration. Ride Quality Symposium, Pap. 14, NAST TM X-3295, august 1975.
- 11. Peter son, A.G.P. & Gross Jr., E.E., 1974. Handbook of noise measurement. General Radio, USA.
- 12. GRUBER, G.J. & ZIPERMAN, H.H. 1974. Relationship between whole-body vibration and morbidity patterns among motor coach operators. HEW Publication No. (NIOSH) 75-104.
- 13. CLARKE, M.J. & OBORNE, D.J. 1975. Reaction of passengers to public service vehicle ride. Ride Quality Symposium, Pap. 19, NAST TM X-3295, august 1975.
- 14. Cosa, M. 1980. Il rumore urbano e industriale. Istituto Italiano di Medicina Sociale ed., Roma.
- Griffin, M.J. 1975. A review of ride comfort studies in United Kingdom. Ride Quality Symposium, Pap. 20, NAST TM X-3295, august 1975.
- 16. CAPPOZZO, A. 1977. Vibrazione dell'intero corpo: criteri di valutazione e limiti di esposizione. Med. Lavoratori. IV (6): 514.
- 17. FAWER, R. 1976. Pathologie professionelle provoquée par les vibrations des marteaux-piqueurs et des perforatrices. Arch. Mal. Profess. Méd. Trav. Secur. Soc. 37 (11): 739.
- 18. MEDVEDOVSKAYA, Ts.P. & PARLYUK, A.F. 1973. The functional state of the visual analyser in persons subjected to the action of general low frequency jerking vibration. Gig. i Sanitaria. 11: 42.
- 19. BOVENZI, M., DI MARINO, F. & MORICH, P. 1979. Rischio da vibrazioni segmentali in una fonderia. Aspetti di igiene industriale. In: Atti del Quarto Convegno Nazionale di Igiene Industriale, Roma 13-14 dicembre 1979. Ann. Ist. Super. Sanità. 17 (3): 423-426.
- 20. REYNOLDS, D.D. & JOKEL, C. 1973. Hand-arm vibration. An engineering approach. Am. Industr. Hyg. Conf., Boston, USA.

- 21. Nuzzacci, A. & Coll. 1976. Ricerca emodinamica e rilievi fisiopatologici sul fenomeno di Raynaud nell'angiopatia da vibrazioni degli arti superiori. Lavoro Umano. 28: 161.
- 22. TRICKOVIC, K., MILIJC, B., TACCOLA, A., VALCIC, I., RASIC, P. & STOIJLJKOVIC, M. 1976. La malattia da strumenti vibranti in operai addetti a lavori forestali; intensità e caratteristiche delle vibrazioni riscontrate. Med. Lavoro, Suppl. al n. 5, p. 526.
- 23. Volkova, T.N., Krasavina, T.S. & Gornik, V.M. 1977. Gli indici dei sistemi coagulanti ed anticoagulanti del sangue nei malati di angiopatia da vibrazioni provocata da vibrazioni diffuse a tutto il corpo. Gig. Truda Prof. Zabolev. S.S.S.R. 5: 51.
- 24. IWATA, H., DUPUIS, H. & HARTUNG, E. 1972. Ubertragung von horizontalen Sinusschwingungen auf die oberen Extremitäten bei Halbpronationsstellung und Reaktion des M. biceps. Int. Arch. Arbeitsmed. 30: 313.
- 25. Bierker, N., Kylin, B. & Lindström, I.M. 1972. Changes in the vibratory sensation threshold after exposure to powerful vibration. Ergonomics. 15: 339.
- Mangler, K.H., Heidenreich, C., Lissner, H. & Rietdorf, I. 1972. Beltrag zur Actiologie der Lunatumsklerose. Beitr. Orthop. 19: 400.
- 27. Nehoroseva, M.A. 1973. Disturbi cocleo-vestibolari nella malattia da vibrazioni. Gig. Truda Prof. Zabolev. 7: 9.
- 28. Kleiner, A.I. 1967. Basic functions of the stomach in patiens with vibration disease. Gig. Truda Prof. Zabolev. 8: 25.
- 29. Anitescu, C. 1969. Effect des vibrations sonores sur l'aldolase et la phosphatase alcaline du serum. Arch. Mal. Profess. Méd. Trav. Secur. Soc. 30 (9): 505.
- 30. Anitescu, C. & Contulesco, A. 1972. Etude de l'influence du bruit et des vibrations sur le comportement des catécholamines dans l'agression sonore vibratoire industrielle. Arch. Mal. Profess. Med. Trav. Secur. Soc. 33 (7-8): 365.
- 31. Vejn, A.M., Matlina, E.Š. & Muradhanov, M.S. 1971. De l'etat du système sympatico-adrénalique chez les personnes atteintes de la maladie des vibrations. Gig. Truda i Profess. Zabolev. 15 (10): 12.
- 32. Bender, E.K. & Collins, S.M. 1969. Effects of vibration on human performance: A literature review. Bolt, Beranek and Newman, Rep. 1767.
- 33. MIWA, T. 1969. Evaluation methods for vibration effect. (Part. 1-9). Ind. Health (Giappone), 1967-1969.
- 34. MIWA, T. & YONEKAWA, T. 1974. Evaluation methods for vibration. Appl. Acoust. 7: 83.
- 35. Reiher, H. & Meister, F.J. 1932. Die Empfindlichkeit des Menchen gegen Stösse. Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesen, vol. 3, S. 177.
- 36. Вкосн, J.Т. 1976. Mechanical vibration and shock measurements. Brüel & Kjaer ed., 3ª edizione, Naerum, Denmark.
- 37. Mc KAY, J.R. 1971. Human perception of whole body vibration. Univ. Southampton Inst. Sound Vib. Res. Mem. No. 435.
- 38. JONES, A.J. & SAUNDERS, D.J. 1974. A scale of human reaction to whole body, vertical sinusoidal vibration. J. Sound Vib. 35: 503.
- 39. Jones, A.J. 1975. Human sensitivity to whole-body vibration. Noise Control Vib. Reduc, 273.
- 40. Janeway, R.N. 1948. Passeger vibration limits. SAE J. 48.
- 41. Dempsey, T.K. & Leatherwood, J.D. 1975. Vibration simulator studies for the development of passenger ride comfort criteria. Ride Quality Symp. NASA TM X-3295 (DOT-TSC-OST-75-40), Pap. 25, Virginia USA.
- 42. DICKMANN, D. 1958. Study of the influence of vibration on man. Ergonomics. 1: 374.
- 43. Dickmann, D. 1961. Einwirkungen mechanischer Schwingungen auf den Menschen. In: E.W. Baader: Handbuch der gesamten Arbeitmedizin. G. Lehmann ed. 1: 701.
- 44. Gobbato, F. 1976. Trattato di medicina del lavoro. Patologia da agenti fisici. Le vibrazioni meccaniche. 227, Calderini ed., Bologna.
- 45. URSS. Ministero della Sanità. 1955. Limiti di accettabilità per la esposizione alle vibrazioni. Norma Sanitaria SN 191-55, Mosca,
- 46. URSS. 1971. Limiti di accettabilità delle vibrazioni nei posti di lavoro fissi. Norma Sanitaria SN 245-71. Mosca.
- 47. D.P.R. 19 marzo 1956, n. 303: Norme generali per l'Igiene del Lavoro. Gazzetta Ufficiale n. 105, Suppl. ord., 30 aprile 1956.
- 48. Verein Deutscher Ingenieure: Beaurteilung der Einvirkung mechanisher Schwingungen auf der Menscher. VDI Pichtline 2057, 1963.
- 49. Czechoslovakian Ministry of Health: Health Regulation nº 33, 1967.
- 50. Association Française de Normalisation (AFNOR): Exposition des individus aux vibrations et aux chocs guide pour l'estimation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps. E 90-40, 1971.
- 51. I.S.O. Standard: S 2631 (E) Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. I ed. 1974, II ed. 1978-01-15.
- 52. I.S.O. Draft addendum: 2631 DAD 2 Evaluation of exposure to whole-body z-axis vertical vibration in the frequency range 0,1 to 1,0 Hz. 10 january 1980.
- 53. ISO TC 108/SC4: Progetto di emendamento alla ISO S 2631 Vibration and shock limits for occupants in buildings 1975.
- 54. Ruggeri, R. 1975. Tollerabilità delle vibrazioni meccaniche negli edifici civili, con riferimento al benessere degli occupanti. Produrre, F. Angeli ed.
- 55. COERMANN, R.R. 1970. Mechanical vibrations. Ergonomics and physical environmental factors. I.L.O. Ginevra.
- 56. Andreeva-Galanina, E.C. & Belikov, M.N. 1958. Gigieniskaja i techniceskaja charakteristika novich klepalnych pneumaticeskick molotkov i podderrzek s umensennymi okdacej i vibracijei. In: *Teorij i Praktika Gigieniceskick Isseldovanij*, LSGMI.
- 57. LYARSKII, P. 1966. Sanitary standards and regulations for work with tools, machines and equipment creating vibrations transmitted to the hands of workers. URSS. Norma Sanitaria SN 626-66.

- 58. G.O.S.T. (URSS). 1972. Hand tools: acceptable vibration levels. Norma Governativa URSS GOST 17770/72.
- 59. Czechoslovakian Ministry of Health: Health Regulation n. 37. 1977.
- I.S.O. Draft Standard: DIS 5349. Principles for the measurement and the evaluation of human exposure to vibration trasmitted to the hand. 1979.
- 61. Associazione Giapponese di Igiene Industriale Sottocomitato per i rischi da vibrazioni localizzate: Limiti delle vibrazioni per strumenti portatili. Japanese J. Ind. Health, 12, 198, 1970.
- 62. Axelsson, S.A. 1977. Progress in solving problem of hand-arm vibration for chain saw operators in Sweden, 1967 to date. The International Occupational Hand-arm Vibration Conference, Cincinnati (USA).
- 63. Bulgarian Standard: Pneumatic equipment. Hand tools norm of vibration. Bulgarian Standard BDS 11147-73, 1974.
- 64. GRIFFIN, M.J. 1980. Vibration injuries of the hand and arm: their occurrence and the evolution of standards and limits. H.M.S.O., Health and Safethy Executive, Res. Pap. 9, London.
- British Standards Institution: Draft for Development guide to the evaluation of human exposure to whole-body vibration. BSI DD 32, 1974.
- 66. British Standards Institution: Draft for Development guide to the evaluation of exposure of the human hand-arm system to vibration. BSI DD 43, 1975.
- 67. ISO/TC 108/WG7 (von Gierke): Guide for the evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. 1971.
- 68. Canadian Standard: Chain saws Canadian Standard. CAN3-Z62. 1-M77. 1977.
- ISO/TC 108/SC4 WG3 (Svezia): Guide for evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. 1973.
- 70. ISO/TC 108/SC4 (Secretariat 20): Guide for the Measurement and the Evaluation of Human Exposure to Vibration Transmitted to the Hand. October 1975.
- 71. ISO/TC 108/SC4 (Germania): Draft Proposal 5349 Guide for the measurement and the evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand. 1978.
- 72. Bovenzi, M., Petronio, L. & Di Martino, F. 1980. Note metodologiche ed esperienze sulla misura delle vibrazioni generate da utensili portatili di tipo percussorio. Med. Lavoro. 3: 235.
- 73. ISO/TC 108/SC4 WG3 N28: Meeting held on 21, 22 and 23 september 1981 in New Orleans, Louisiana, USA: Assessment of exposure to hand-transmissed vibration. 1981.

La microscopia elettronica in Italia: stato attuale e prospettive di sviluppo

GIANFRANCO DONELLI (a), PIER GIORGIO MERLI (b), IVONNE PASQUALI RONCHETTI (c), e Ugo VALDRÈ (d)

- (a) Istituto Superiore di Sanità, Roma; (b) LAMEL-CNR, Bologna; (c) Istituto di Patologia Generale, Università di Modena;
- (d) Istituto di Fisica, Università di Bologna

1 - Introduzione.

La microscopia elettronica nasce nel 1933 con la realizzazione del primo microscopio elettronico capace di fornire immagini con risoluzione migliore di quella ottenibile con il microscopio ottico. Oggi essa può essere considerata una vera e propria disciplina scientifica, che ha per oggetto lo studio delle interazioni elettronemateria in un dominio di energie che si estende fino a qualche milione di elettrovolt. Come metodologia d'indagine ultrastrutturale consente di studiare l'organizzazione della materia fino ai suoi costituenti atomici e, ove associata a tecniche microanalitiche, di localizzare ed identificare elementi chimici in aree del diametro di meno di cento atomi e del peso di circa 10-20 grammi. Non solo discipline connesse con le scienze della vita e la scienza dei materiali, ma anche processi tecnologici relativi alla produzione e al controllo dei beni di consumo, e perfino studi forensi ed artistici traggono vantaggio dall'impiego della microscopia elettronica. L'ampiezza e la significatività del suo impatto possono essere illustrate mediante alcuni esempi tratti da campi applicativi diversi.

Lo studio al microscopio elettronico di metalli e leghe, o di materiali semiconduttori, consente di acquisire informazioni-chiave per intervenire in tempi brevi nei processi produttivi al fine di correggerli e migliorarli o, in altri casi, per consentire la diagnosi di guasti e difetti di fabbricazione che possono quindi essere eliminati, con ovvi vantaggi economici. Inoltre nell'ambito delle nuove tecnologie impiegate nella costruzione di impianti non convenzionali per la produzione di energia, la microscopia elettronica fornisce fondamentali informazioni sulla struttura e sul comportamento dei materiali in condizioni di esercizio. Basta ricordare ad esempio come, nel caso delle centrali termonucleari, il danno da irraggiamento dei materiali impiegati per la costruzione dei reattori possa essere in buona parte simulato e valutato al microscopio elettronico in tempi dell'ordine dei minuti, contro quelli dell'ordine dell'anno richiesti dai metodi convenzionali.

In campo biologico la microscopia elettronica contribuisce in modo insostituibile alla conoscenza delle strutture cellulari ed extracellulari fornendo nozioni indispensabili alla comprensione delle relative funzioni integrate.

Nella ricerca biomedica in particolare, essa rappresenta un importante metodo d'indagine che trova sempre più ampie applicazioni sia nello studio delle alterazioni strutturali associate ad anomalie funzionali, sia nella diagnostica clinica. In quest'ultimo settore la microscopia elettronica si sta rivelando un mezzo estremamente utile che, in numerosi casi, rende possibili diagnosi differenziali precoci e quindi interventi terapeutici mirati e tempestivi; in altri casi essa consente, in modo rapido e semplice, il riconoscimento, in quantità ridotte di campioni clinici, di agenti infettivi non coltivabili o di difficile isolamento.

Le ricerche di microscopia elettronica hanno avuto inizio in Italia nel novembre del 1942 con l'installazione a Roma, presso l'Istituto Superiore di Sanità, di uno dei primi microscopi elettronici costruiti dalla Siemens, con potere risolutivo limite di 25 nm e tensione massima di accelerazione di 60 KV. Questo strumento lavorò intensamente su materiali biologici diversi, fino all'ottobre del 1943, quando venne smontato e riportato in Germania dalle truppe tedesche in occasione dei ben noti eventi bellici. Il gruppo di fisici ai quali era stato affidato decise allora di tentare la progettazione e la costruzione di uno strumento analogo avvalendosi sia dell'esperienza acquisita che dei rilievi operati sui dati tecnici fondamentali. L'impresa riuscì e nel luglio 1946 il nuovo microscopio entrò in funzione con prestazioni migliori di quello della Siemens, tanto che il suo potere risolutivo si aggirava sui 10 nm. Questo strumento che ha continuato a funzionare per quasi 20 anni, rappresenta ancora oggi il primo ed unico prototipo di microscopio elettronico realizzato interamente in Italia.

Fra la fine degli anni '40 e l'inizio degli anni '50 diverse strutture industriali ed universitarie italiane acquisirono strumenti di produzione straniera (Siemens, RCA, Trüb Tauber e CSF) ed intrapresero varie attività di ricerca che, nell'arco di pochi anni, portarono, in alcune sedi, a risultati di rilievo internazionale.

Il rapido sviluppo sia quantitativo che qualitativo della ricerca in quegli anni, congiuntamente al desiderio ed alla necessità di scambi di esperienze e di idee, indusse utilizzatori e progettisti di microscopi elettronici ad organizzarsi, sia in Italia che all'estero, in associazioni scientifiche, successivamente federatesi in una organizzazione internazionale, l'IFSEM - International Federation of Societies for Electron Microscopy, che raccoglie attualmente 26 associazioni nazionali. Ad essa aderì anche la Società Italiana di Microscopia Elettronica (SIME) che, costituita nel 1956, conta ora oltre 400 associati. Gli utilizzatori di strumentazione di microscopia elettronica si possono tuttavia valutare in Italia ad oltre un migliaio, tra tecnici e ricercatori. Essi operano prevalentemente in università, industrie (ENEL, FIAT, Olivetti, CSELT, ecc.), enti di ricerca pubblici e privati (CNR, CNEN, ISS, CISE, ecc.) ed ospedali. I microscopi elettronici installati in Italia nell'arco di 30 anni sono circa 350, la stragrande maggioranza dei quali è stata acquistata a partire dalla seconda metà degli anni '60. Ciò ha corrisposto ad un non indifferente investimento di capitali, cui va aggiunto quello relativo all'acquisto di strumentazione complementare (evaporatori, ultramicrotomi, unità per la preparazione dei campioni, ecc.) ed accessori (microsonde, microanalizzatori, spettrometri ecc.) nonché i costi di gestione. Attualmente il prezzo di acquisto di un microscopio elettronico oscilla tra i 150 milioni di lire per uno strumento base di buone prestazioni e gli oltre due miliardi per uno strumento ad alta tensione da 1,5 milioni di volt. Il costo medio di gestione per una unità di microscopia elettronica che venisse attivata oggi, valutato con criteri che tengano conto di un ammortamento medio decennale e di un minimo di accessori e di strumentazione complementare, della relativa manutenzione, delle spese di funzionamento, dell'incidenza dei servizi generali e di due unità di personale addetto a tempo pieno, è di oltre 100 milioni di lire all'anno. In realtà, gran parte delle unità di microscopia elettronica italiane operano con costi gestionali inferiori in quanto utilizzano strumentazione acquistata da oltre 10 anni e quindi già ammortizzata. In base a tali valutazioni, si può comunque dedurre un impatto economico della microscopia elettronica di una ventina di miliardi di lire all'anno, cifra non trascurabile nell'ambito della spesa complessiva per la ricerca in Italia. Va tra l'altro sottolineato il notevole esborso valutario in questo settore, per l'acquisto sia della strumentazione che della stragrande maggioranza dei materiali di consumo, dovuto alla sostanziale inesistenza di industrie italiane operanti nel ramo.

I paesi attualmente impegnati nella progettazione e nella realizzazione di microscopi elettronici ed accessori sono la Germania, il Giappone, la Gran Bretagna, la Francia, l'Olanda, la Svizzera e gli Stati Uniti d'America. Contributi allo sviluppo della strumentazione, sebbene in minor misura, sono forniti anche dalla Cecoslovacchia, dall'URSS, dalla Svezia e dalla Iugoslavia. È proprio dall'inevitabile confronto con tali Paesi, che sono in linea di massima anche quelli più attivi per quanto concerne sia la ricerca di base sia lo sviluppo di nuove metodologie, che è emersa in questi ultimi anni l'esigenza di definire lo stato della microscopia elettronica in Italia allo scopo di:

- 1) delineare un quadro sufficientemente rappresentativo della situazione italiana;
- operare un confronto qualitativo e quantitativo tra la situazione italiana e quella di altri paesi europei;

3) sensibilizzare l'opinione pubblica ed i responsabili della programmazione scientifica e tecnologica nazionale ai problemi ed alle potenzialità della microscopia elettronica.

La SIME si è fatta carico di questa iniziativa, procedendo preliminarmente alla nomina di 4 Commissioni, composte da ricercatori operanti nei vari settori applicativi (Biologia, Patologia Clinica, Fisica, Industria), con l'incarico di individuare i principali parametri strutturali e funzionali delle unità di microscopia elettronica, sulla base dei quali definire le caratteristiche di un apposito questionario da inviare ai soci della SIME ed a coloro che, da elenchi forniti dalle Ditte interessate, risultavano essere utilizzatori di apparecchiature per microscopia elettronica.

I dati pervenuti (107 unità di ricerca per un totale di 340 ricercatori e del 60% circa dei microscopi elettronici presumibilmente funzionanti in Italia), ritenuti sufficienti ad offrire un quadro significativo della situazione, sono stati oggetto di attenta elaborazione [1].

I risultati di maggior rilievo ulteriormente analizzati ed integrati da una ricerca bibliografica eseguita sul « Bulletin Signalétique–Microscopie Electronique » nonché da una rilevazione di dati svolta con la collaborazione delle ditte operanti nel settore sono presentati appresso sotto forma di tabelle, grafici ed istogrammi, che rispecchiano sostanzialmente la situazione della microscopia elettronica in Italia aggiornata a tutto il 1980.

2. - I DATI DELL'INDAGINE.

2.1. – Distribuzione e livelli di utilizzazione dei microscopi elettronici.

La Tab. 1 riporta la distribuzione per Enti utilizzatori dei microscopi elettronici nelle 107 unità di ricerca censite dal questionario, che viene confrontata con quella ricavata dai dati forniti dalle ditte sui microscopi elettronici venduti (non necessariamente funzionanti). I microscopi sono stati inoltre suddivisi nelle due categorie: microscopi a trasmissione (TEM) e microscopi a scansione (SEM).

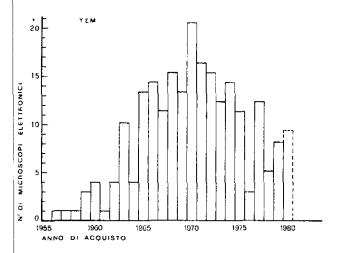
Il TEM rappresenta lo strumento tradizionale, che può fornire informazioni circa la struttura tridimensio-

Tabella 1. – Numero di microscopi elettronici acquistati dai diversi Enti di ricerca al 1980, come risultano dalle risposte al questionario e dagli elenchi forniti dalle Ditte.

		N. MICROSCOPI ELETTRONICI						
ENTI	N. unità di	TE	TEM :		м	Totali parziali		
	ricerca	Quest	Ditte	Quest.	Ditte	Quest.	Diffe	
Università	64	85	192	20	35	105	227	
Enti pubblici	21	22	38	13	22	35	60	
Industria	19	10	27	20	39	30	66	
Ospedali	3	4	13		1	4	14	
Totali generali	107	121	270	53	97	174	367	

nale dell'oggetto in esame sotto forma di immagini bidimensionali. Il suo alto potere risolutivo (circa 0,25 nm negli strumenti di prestazioni più elevate) può consentire l'osservazione diretta di singoli atomi. Il pieno sfruttamento delle potenzialità dello strumento richiede periodi di addestramento non indifferenti per l'acquisizione di una esperienza sufficiente ad una corretta interpretazione dell'immagine, nonché per l'apprendimento delle laboriose tecniche di preparazione dei campioni. Infatti, questi ultimi, per essere resi « trasparenti » al fascio di elettroni, debbono avere in genere uno spessore inferiore ai 100 nm che, nella quasi totalità dei casi, viene raggiunto mediante opportuni procedimenti.

Il SEM è, per contro, uno strumento di minore risoluzione (fino a circa 5 nm) che comporta una preparazione dei campioni meno laboriosa e che permette l'osservazione di oggetti anche di dimensioni dell'ordine delle decine di cm. L'immagine fornita da un SEM contiene sostanzialmente informazioni sugli strati superficiali del campione e la sua interpretazione è di solito più agevole che per le immagini del TEM. Queste caratteristiche ne spiegano la maggiore diffusione nell'industria, dove ben si presta all'attività di controllo di qualità ed analisi dei guasti. Comunque il SEM, tanto più se dotato di opportuni accessori, può



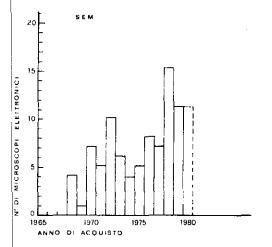


Fig. 1. - Microscopi elettronici a trasmissione e a scansione, installati in Italia a tutto il 1979 (con aggiornamento parziale al 1980), suddivisi per anno di acquisto: dati messi a disposizione dalle ditte produttrici, relativi a 94/97 SEM ed a 220/270 TEM.

essere utilizzato come strumento di analisi e di ricerca ad alto livello sia nei campi della scienza dei materiali e delle scienze della terra, sia in quelli della ricerca biomedica.

Il fatto che il numero di SEM installati sia oggi notevolmente inferiore a quello dei TEM, è motivato dalla sua recente commercializzazione che, in Italia, è iniziata praticamente nel 1967, cioè con circa 20 anni di ritardo rispetto al TEM.

Negli istogrammi di Fig. 1 sono riportati i dati quantitativi relativi alla distribuzione per anno di acquisto dei microscopi elettronici censiti, suddivisi tra TEM e SEM. L'ultimo decennio ha visto il rapido affermarsi del SEM che, come si è detto, si diffonde preferenzialmente nei settori non biologici. Un rallentamento si riscontra invece nell'installazione di nuovi TEM, che non è certo riconducibile ad un diminuito interesse per questo tipo di strumentazione, né ad una riduzione della sua potenzialità di ricerca, né ancora alla concorrenza di altra strumentazione e neanche ad una saturazione delle possibili utenze. La diminuzione si ritiene invece imputabile alla concomitanza tra il rapido aumento dei costi (oltre 200 ML per strumenti di elevate prestazioni, senza accessori) ed alla sostanziale staticità dei finanziamenti. Queste circostanze, che stanno conducendo ad un invecchiamento della strumentazione esistente in Italia, lasciano intravedere preoccupanti prospettive sia per quanto riguarda il mantenimento dei livelli scientifici raggiunti, sia per le possibilità di sviluppo a medio ed a lungo termine.

In Fig. 2 viene mostrata la distribuzione per aree geografiche (a) e per regioni (b) dei microscopi elettronici esistenti in Italia, aggiornata al 1979. I dati tengono conto delle informazioni fornite sia dal questionario sia dalle ditte. La distribuzione prescinde sia dal tipo di microscopio sia dall'anno di acquisto. Il 50 % dei microscopi elettronici risulta installato nel Nord, mentre la restante parte quasi equamente distribuita fra centro e sud.

Per comprendere le ragioni di queste notevoli differenze, i dati sono stati ulteriormente analizzati, distinguendo fra microscopi acquistati rispettivamente confinanziamento pubblico e privato, all'interno della suddivisione per aree geografiche (Tab. 2). Risulta evi-

Tabella 2. – Distribuzione per aree geografiche dei microscopi elettronici censiți al 1979, con distinzione fra microscopi acquistati rispettivamente con finanziamento pubblico e privato.

AREE GEOGRAFICA	Enti pubblici	Enti privati	
Nord	118 73 % (43 %)	44 27 % (85 %)	
Centro	87 95 % (32 %)	5 5 % (10 %)	
Sud e Isole	68 96 % (25 %)	3 4 % (5 %)	
Totale	273	52	

Le percentuali riportate fra parentesi vanno riferite al totale dei microscopi censiti; le altre sono relative al totale dei microscopi per area geografica.

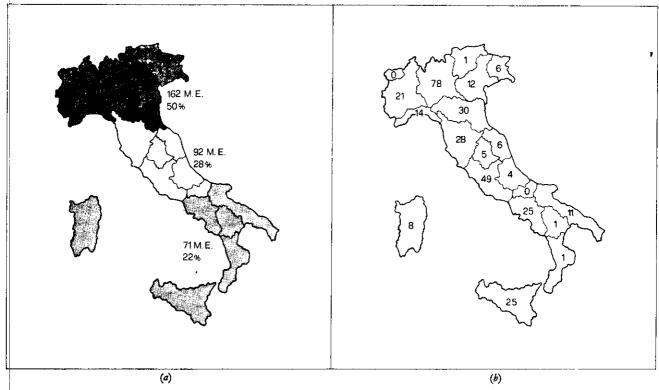


Fig. 2. - Distribuzione per aree geografiche (a) e per regioni (b) dei microscopi elettronici esistenti in Italia al 1979.

dente la sperequazione nel settore privato, ascrivibile alla presenza nel Nord di industrie ad elevato contenuto tecnologico o comunque di laboratori di ricerca e sviluppo integrati nelle strutture produttive, mentre nel settore pubblico lo squilibrio è assai contenuto.

Per dare una valutazione oggettiva dei finanziamenti sia pubblici che privati si è rapportato il numero dei microscopi presente nelle tre aree geografiche alla relativa popolazione (Tab. 3). Altri possibili riferimenti (numero di facoltà scientifiche, popolazione studentesca, centri di ricerca, insediamenti industriali, ecc.) sono stati scartati in quanto risultano viziati da scelte operate a monte.

Tabella 3. – Distribuzione dei microscopi elettronici per aree geografiche in rapporto alla popolazione.

AREE N. di		N. microscopi elettronici installati per milioni di abitanti			
abitanti (in milioni)	N. totale microscopi elettronici	TOTALS	M.E. in statture pub- bliche	M.E. in enti privati	
24,854	162 (118+44)	6,52	4,75	1,77	
11,785	92 (87 + 5)	7,81	7,38	0,43	
17,386	71 (68+3)	4,1	3,9	0,2	
	abitanti (in milioni) 24,854 11,785	24,854 162 (118+44) 11,785 92 (87+5) 17,386 71	24,854 162 6,52 (118+44) 11,785 92 7,81 (87+5) 17,386 71 4,1	N. totale microscopi elettronici TOTALS M.E. in sturture pubbliche	

Il numero totale dei microscopi elettronici tiene conto di quelli censiti dal questionario e di quelli presenti a tutto il 1979 negli elenchi forniti dalle Ditte. È indicato fra parentesi nell'ordine il numero dei microscopi elettronici acquistati rispettivamente con finanziamento pubblico e privato.

Per milione di abitanti i microscopi elettronici risultano abbastanza equamente distribuiti fra Nord e Centro, mentre sono nettamente inferiori al Sud. Da una analisi della distribuzione fra strutture pubbliche e private emerge invece che nel settore privato, per milione di abitanti, è installato al Nord un numero di microscopi elettronici rispettivamente 4 e 9 volte superiore in confronto al Centro e al Sud.

Pur non essendo in possesso di elementi per valutare l'esistenza e l'eventuale impatto del finanziamento privato nell'acquisto e/o nella gestione di strumentazione installata presso Università, Ospedali ed Enti pubblici, emerge dalla Tab. 3 una significativa prevalenza degli investimenti pubblici nell'Italia centrale. Questa situazione, che ha nel nostro Paese ben note motivazioni storiche, è destinata a registrare in futuro una evoluzione diversa, basata sia sul decentramento regionale di gran parte del potere centrale, sia su una auspicabile diversa politica d'investimento nei settori della ricerca scientifica e tecnologica.

Un'altra informazione di una certa rilevanza può essere ottenuta dal confronto fra gli investimenti pubblici al Nord ed al Sud. Tale dato può in parte attenuare le affermazioni relative alle carenze d'intervento centrale nelle strutture pubbliche al Sud.

In Tab. 4 è riportata la distribuzione geografica e per settori di ricerca dei microscopi elettronici censiti in Italia al 1979.

Nel caso delle scienze dei materiali i microscopi installati presso Enti pubblici sono stati distinti da quelli esistenti presso Enti privati; le rispettive percentuali sono riportate in parentesi. Questa distinzione non si è potuta operare in campo biomedico per l'insufficiente disponibilità di dati relativi al settore privato.

Da rilevare come nel settore biomedico, l'installazione presso strutture pubbliche sia abbastanza bilan-

Tabella 4. – Distribuzione geografica e per settori di ricerca dei microscopi elettronici censiti in Italia al 1979.

	M.B. IN BIO- MEDICINA Enti pubblici		M.E. IN SCIENZA DEI MATERIALI				
AREE GEOGRAFICHE			E	nti	TOTALE	%	
	N.	%	pubblici	Privati			
Nord	87	41		44 (59 %)	75	67	
Centro	68	31	19 (30 %)	5 (20 %)	24	22	
Sud e Isole	59	38	9 (75 %)	3 (25 %)	12	11	
TOTALE	214	100	59	52	111	100	

Sono indicate fra parentesi le distribuzioni percentuali dei microscopi presenti nelle strutture pubbliche e private, nell'ambito della stessa area geografica.

ciata fra Nord, Centro e Sud, mentre nel settore della scienza dei materiali ci sia stato un prevalente investimento pubblico al Centro e al Sud, compensato al Nord da un notevole finanziamento privato. A questo riguardo, la maggioranza dei microscopi elettronici installati presso strutture private risulta, da un esame delle risposte al questionario, legata al processo industriale con prevalenti funzioni di controllo.

Per quanto concerne il grado di utilizzazione dei microscopi elettronici, sono stati presi in considerazione quali parametri indicativi il numero di micrografie elettroniche eseguite annualmente per strumento, le ore annue di funzionamento ed il consumo annuale di filamenti per microscopio; dato tuttavia l'esiguo numero di dati raccolti circa l'ultimo parametro, si è preferito limitarsi ad una valutazione basata sui primi due. I dati ottenuti, suddivisi per aree geografiche e per settori di ricerca ed espressi in termini di funzionamento e di numero medio di micrografie per anno, sono riportati in Tab. 5.

Al di là di differenze non significative fra le varie aree geografiche, è emerso un livello di utilizzazione

Tabella 5. – Dati relativi all'utilizzo dei microscopi elettronici, in termini di ore medie di funzionamento annuo e di numero medio annuo di micrografie per strumento, suddivisi per aree geografiche e settori di ricerca.

	Scienze bi	o-mediche	Scienza dei materiali		
AREE GEOGRAFICHE	Ore	Lastre	Ore	Lastre	
	anno	anno per	anno	anno per	
	per M.E.	M.E.	per M.E.	M.E.	
Nord	826	1.838	793	1.275	
	(30 %)	(30 %)	(29 %)	(29 %)	
Centro	650	2.408	650	2.142	
	(18 %)	(18 %)	(29 %)	(29 %)	
Sud e Isole	738	2.050	150	1.000	
	(22 %)	(22 %)	(8 %)	(8 %)	

In parentesi è indicata la percentuale di microscopi elettronici per i quali è stata possibile la valutazione del grado di utilizzo, rispetto al numero totale di strumenti censiti.

degli strumenti pari a circa il 50 % del tempo di lavoro. Tale dato, ove si tenga conto del numero relativamente basso di risposte e della loro probabile provenienza (come si vedrà appresso) dalle unità di ricerca più attive ed organizzate, rappresenta presumibilmente un limite superiore. La strumentazione sembrerebbe quindi fortemente sottoutilizzata anche nell'ambito delle strutture di ricerca di maggior efficienza: in realtà, vanno viceversa considerati i « tempi morti » dovuti sia alla necessaria manutenzione dei microscopi che all'organizzazione del lavoro, a sua volta condizionata da problemi di preparazione dei campioni e di carenza di personale tecnico.

2.2. - Finanziamenti.

Nonostante l'insufficienza dei dati raccolti (solo 43 delle 107 unità di ricerca censite hanno fornito indicazioni precise circa i finanziamenti ottenuti), emerge comunque che i fondi CNR gestiti dalle strutture universitarie sostengono la maggior parte della ricerca e che questi sono stati assegnati in misura crescente, ma non compensativa, dell'inflazione; a titolo di esempio, nel triennio 1974-1976, il contributo ordinario medio si è aggirato sui 3-5 milioni di lire all'anno. Va inoltre rilevato che negli ultimi anni si è profilata una inversione di tendenza, che si spera venga mantenuta, relativamente ai contributi di ricerca del MPI; questi hanno registrato, specie per l'acquisto di nuova strumentazione, un deciso incremento che è tuttavia risultato finora sostanzialmente compensativo del minor intervento del CNR, il quale ha mostrato a sua volta di voler privilegiare da un lato i propri organi e dall'altro unità di ricerca, per lo più di notevole consistenza, inserite nei progetti finalizzati, tagliando quindi fuori la stragrande maggioranza dei piccoli gruppi di ricerca. Anche negli enti pubblici si è verificata una tendenza all'aumento dei finanziamenti nei riguardi delle strutture di maggiori dimensioni, impegnate in ricerche a carattere prevalentemente finalizzato.

Indipendentemente dall'entità dei finanziamenti, appaiono ancora non superate le difficoltà causate dai ritardi nelle assegnazioni, che risultano dell'ordine dell'anno, cui vanno ad aggiungersi le esasperanti lentezze amministrative che da sempre caratterizzano le strutture universitarie e quelle dei grandi enti pubblici. Ovviamente tale situazione si riflette assai negativamente sia sulla programmazione dell'attività scientifica che sull'economia di gestione delle singole unità di ricerca.

2.3. - Personale.

Pur nella limitatezza dei dati resi disponibili circa la composizione qualitativa (direttori di ricerca, ricercatori, tecnici, ecc.) e quantitativa del personale (circa il 30 %) delle strutture di ricerca censite, si è potuto comunque verificare come anche in questo settore, analogamente a quanto già emerso a livello generale da una recente e assai più significativa indagine del CNR [2], si sia registrato negli ultimi dieci anni un sostanziale blocco delle assunzioni. Ciò è testimoniato dalla diminuzione del numero totale di unità di personale per unità di ricerca e dalla elevazione dell'età media dei ricercatori, con conseguente carenza di ricambio e de-

pauperamento dell'addestramento. In particolare è emerso che solo il 15 % dei ricercatori risulta di età compresa fra i 29 ed i 34 anni, il 25 % ha età fra i 35 e i 39 anni, un altro 25 % tra i 40 ed i 44 anni, un 20 % fra 45 e 49, ed un 15 % oltre i 50 anni. L'indagine ha inoltre messo in evidenza la completa assenza di ricercatori, con rapporto di lavoro stabile, di età inferiore ai 29 anni; scarso è risultato anche il numero dei borsisti.

Le indicazioni percentuali raccolte circa le modalità di acquisizione delle conoscenze di microscopia elettronica da parte dei ricercatori sono mostrate nella Tab. 6.

Tabella 6. – Indicazioni percentuali circa le modalità di acquisizione delle conoscenze di microscopia elettronica da parte dei ricercatori censiti.

ACQUISIZIONE CONOSCENZE IŃ M.E.				
Università italiane	39			
Enti ricerca italiani	23			
Università straniere	13			
Enti ricerca stranieri	10			
Autodidatta	5			
Corsi addestramento ditte	5			
Corsi extrauniversitari	3			
Corsi internazionali Erice	2			

Merita sottolineare, accanto alla scontata funzione delle strutture di ricerca italiane, come circa un quarto dei ricercatori abbia effettuato periodi di addestramento all'estero, il che, se da un lato può essere interpretato positivamente come « apertura » delle unità di ricerca, dall'altro potrebbe indicare una certa difficoltà ad individuare a livello nazionale sedi di specializzazione per taluni indirizzi. Ricordando tuttavia l'età media particolarmente elevata dei ricercatori, e lo sviluppo relativamente recente della microscopia elettronica in Italia, la seconda ipotesi rispecchierebbe comunque una situazione storicamente datata e quindi come tale, in larga misura prevedibile.

2.4. - Attività didattico-promozionali.

Il contributo prevalente a carattere didattico, è tuttora rappresentato dall'assegnazione di tesi di laurea e di perfezionamento (una decina all'anno).

Non esistono nelle università italiane corsi istituzionali di microscopia elettronica; vengono tenuti soltanto cicli di lezioni, in poche sedi universitarie, che affrontano di volta in volta aspetti teorici, strumentali ed applicativi nell'ambito di insegnamenti di carattere più generale o di scuole di specializzazione.

Taluni enti hanno inoltre svolto attività saltuarie, alcune delle quali ad alto livello come la Scuola Internazionale di Microscopia Elettronica del Centro di Cultura Scientifica E. Majorana, relative a corsi di perfezionamento o scuole per laureati.

Negli anni recenti vanno anche segnalate alcune iniziative da parte di singole unità di ricerca per l'adde-

stramento di personale tecnico in alcuni settori applicativi. Tutte queste attività risultano tuttavia in numero e durata non adeguati alle effettive esigenze del settore.

Da segnalare infine l'organizzazione del primo Corso di Microscopia Elettronica per ricercatori e tecnici italiani, promosso dalla Società Italiana di Microscopia Elettronica (SIME) in collaborazione col CNEN, che ha avuto luogo nell'aprile 1981. Si auspica che questa iniziativa della quale la SIME è stata per la prima volta promotrice, anche in considerazione dell'importanza che riveste negli scopi statutari della Società, possa assumere in futuro carattere periodico.

2.5. - Produzione scientifica.

Per quanto concerne tale delicato aspetto, è parso che, pur nei limiti che verranno considerati di seguito, il criterio più oggettivo di valutazione fosse rappresentato dall'analisi delle pubblicazioni, nelle quali si riconosce uno dei momenti fondamentali della costruzione stessa della conoscenza scientifica.

Tale criterio può apparire criticabile soprattutto quando si applichi alla valutazione dell'attività di industrie od ospedali, ove possono essere prevalenti compiti di servizio o di controllo che non portano a pubblicazioni di sorta, oppure producono quella forma di «letteratura non convenzionale» o «letteratura grigia» (relazioni interne, articoli su periodici aziendali non in commercio, ecc.) che, non essendo diffusa attraverso i normali canali scientifici, è difficilmente reperibile. Tuttavia solo il 20 % dei microscopi opera in ospedali ed industrie, mentre il rimanente 80 % è distribuito fra enti di ricerca ed università. Per questi ultimi settori il criterio di valutazione dell'attività scientifica usato correntemente è appunto quello basato sul numero e sulla qualità delle pubblicazioni.

A tal proposito tuttavia, non si può fare a meno di sottolineare il recente affermarsi, nell'ambiente scientifico di tutti i paesi, di una crescente ed irrazionale spinta alla pubblicazione che trova le sue motivazioni sia nell'interesse personale del ricercatore, che vede spesso dipendere la propria carriera e talora le sue stesse condizioni economiche dal ritmo e dalla quantità delle sue pubblicazioni, sia nel fatto che da esse dipendono in modo più o meno diretto i finanziamenti necessari al funzionamento ed al potenziamento del proprio laboratorio. Questi comportamenti, fortemente indotti, hanno dato luogo, negli ultimi anni, ad un meccanismo di moltiplicazione delle pubblicazioni che, oltre a creare una valanga di lavori dei quali diviene sempre più difficile avere un controllo qualitativo, può distorcere il modo stesso in cui avviene la conduzione della ricerca. In questa situazione così complessa l'unica soluzione sembra quindi quella di una valutazione della produzione scientifica basata esclusivamente sulla validità o meno dei sistemi di verifica qualitativa cui le pubblicazioni sono state sottoposte.

Nella Tab. 7 è riportata la distribuzione delle pubblicazioni su riviste internazionali e nazionali, suddivise per Ente, edite nel periodo 1966–1977, quali risultano dalle risposte pervenute. I dati mostrano una produttività scientifica (numero di pubblicazioni per unità di ricerca) più elevata nell'ambiente universitario; essa diminuisce negli enti di ricerca pubblica ed ha

Tabella 7. – Distribuzione, sulla base delle risposte al questionario, delle pubblicazioni edite nel periodo 1966–1977 su riviste internazionali e nazionali, suddivise per enti.

			PUBBIC	AZIONI		
	37 1.3	Internazionali		Na	Nazionali	
ENTI	N. unità di ricerca	N.		N.	N. pubbl. per unità ricerca	
Università	64	1.066	16,6	658	10,3	
Enti pubblici	21	223	10,6	118	5,6	
Industria	19	13	0,7	19	1,0	
Ospedali	3	1	0,3	3	1,0	
Totali	107	1.303	12,2	798	7,5	

valori trascurabili nell'industria e negli ospedali. Inoltre, nell'ambito delle università e degli enti pubblici di ricerca, si osserva una maggiore tendenza a pubblicare su riviste internazionali, mentre nell'industria e negli ospedali risulta il contrario (nei limiti in cui si possono ritenere significativi i pochi dati disponibili in proposito). La produzione di pubblicazioni su riviste internazionali non è tuttavia distribuita in modo omogeneo fra le unità di ricerca censite, ma riguarda solo 66 unità sulle 107 che hanno fornito una risposta al questionario; di queste, il 16 % è risultato produrre il 58 % dei lavori su riviste internazionali.

Ci è parso interessante confrontare questi dati con quelli ricavati nel corso di una precedente ricerca bibliografica eseguita sul « Bulletin Signalétique-Microscopie Electronique » edito dal Centre National de Recherche Scientifique e dalla Electron Microscopy Society of America [3]. Le pubblicazioni considerate coprivano un periodo di sei anni a partire dal 1970 fino a tutto il 1975, ed essendo relative a tutte le unità di ricerca operanti in Italia, forniscono un dato più generale che usato come termine di confronto, permette di ricavare informazioni sulla rappresentatività dei dati riportati in Tab. 7 e, più in particolare, sulle unità che hanno risposto al questionario.

La suddivisione dei lavori scientifici fra i vari enti è praticamente identica a quella riportata nella Tab. 7, mentre risulta invertita la percentuale dei lavori internazionali e nazionali; infatti solo il 40 % (anziché il 62 %) dei lavori vieni pubblicato su riviste di carattere internazionale, mentre il 60 % (anziché il 38 %) risulta pubblicato su riviste di divulgazione nazionale. Queste ultime sono più di ottanta e molte di esse, pur citate nei bollettini segnaletici internazionali, hanno una diffusione quasi esclusivamente « locale » e si possono considerare di livello qualitativo piuttosto modesto.

A conferma di queste affermazioni si può fare riferimento ad un articolo di E. Garfield [4], dell'Istituto per l'informazione Scientifica (ISI) di Filadelfia, sul « valore » delle riviste scientifiche italiane; l'ISI è una istituzione scientifica che si occupa tra l'altro di quantificare la rilevanza dell'informazione scientifica sulla base dell'analisi delle citazioni. Nell'articolo in questione si considera: i) il numero C di articoli pubblicati da ogni rivista italiana nel 1972 e '73 che nel 1974

vengono citati dalle altre riviste scientifiche internazionali (2443 nel 1974), ii) il numero D di articoli pubblicati da ogni rivista italiana nel 1972 e '73. Il rapporto A = C/D costituisce il parametro di rilevanza oggettiva della rivista in esame. Nel periodo considerato il valore medio internazionale di tale parametro A risultava di 1.015. Solo due riviste italiane superavano tale valore medio: il Journal of Submicroscopic Cytology con A = 1.184 (una rivista essenzialmente di microscopia elettronica) e Archives Italiennes de Biologie con A = 1.061. Entrambe le riviste pubblicano esclusivamente in lingua straniera e nella nostra indagine sono state considerate riviste internazionali. Delle ottanta riviste italiane in cui si trovano articoli di microscopia elettronica solo alcune compaiono nell'elenco delle prime 34 (ad es. Caryologia con A = 0.466, Tumori con A = 0.280, Metallurgia Italiana con A =0.112, Boll. Soc. Ital. Biol. con A = 0.107) che si chiude con un parametro di rilevanza oggettiva di 0.007 che corrisponde ad una sola citazione nel 1974 di tutti i 151 lavori pubblicati sulla rivista stessa (Elettronica) nei due anni precedenti. Le altre due riviste non compaiono poiché tutti i lavori pubblicati in esse nel 1972 e '73 non sono mai stati citati nelle 2443 riviste considerate nel 1974; dal punto di vista delle citazioni è come se quei lavori non esistessero. Dati i limiti di questo metodo di valutazione, la costruzione di una rigida graduatoria di merito basata su di esso è senz'altro discutibile, mentre sembrano valide le indicazioni di massima. Riviste con lavori in media molto citati danno un contributo positivo alla crescita della conoscenza scientifica, mentre quelle con poche o nessuna citazione dei propri lavori danno un contributo trascurabile o nullo. La stragrande maggioranza delle ottanta riviste italiane in cui compaiono articoli di microscopia elettronica è di quest'ultimo tipo. Il risultato del confronto indica che le risposte al questionario provengono dalle unità di ricerca più attive e con produzione a livello internazionale. La distribuzione dei lavori fra le varie unità di ricerca lo conferma: infatti il 16 % delle unità di ricerca produce il 70 % dei lavori internazionali, il 46 % produce il restante 30 %, mentre il 38 % produce solo lavori di diffusione nazionale o non esiste nella letteratura scientifica. Come dai dati del questionario, la produzione di letteratura internazionale risulta concentrata nel 62 % delle unità di ricerca considerate e quella nazionale nel rimanente 38 %. All'interno di questi due gruppi la situazione risulta più diversificata (70 % anziché 58 % delle pubblicazioni internazionali dovute al 16 % delle unità di ricerca), ma conferma il giudizio di relativa maggiore produttività scientifica media delle unità di ricerca che hanno risposto al questionario.

In altri termini i dati suesposti possono essere così riassunti: le pubblicazioni non si suddividono in modo mediamente omogeneo tra tutte le unità di ricerca ma la loro produzione è in gran parte concentrata in alcuni laboratori ben definiti. Esistono cioè in Italia centri di buon prestigio internazionale, dove sia la qualità che la quantità delle pubblicazioni indica l'esistenza di una cultura scientifica consolidata in un dato settore di ricerca. Questi centri sono una trentina, molto spesso dotati di più microscopi elettronici ed inseriti in grosse strutture di ricerca. Altri centri svolgono un lavoro buono dal punto di vista qualitativo, ma quantitativamente più limitato: essi sono spesso

legati a ricercatori di livello, inseriti in strutture organizzative modeste. Infine vi sono centri ove, perlomeno in termini di letteratura scientifica, si produce pochissimo ed altri ove non si produce affatto.

3. – Confronto fra la situazione italiana e quella britannica.

È parso interessante confrontare alcuni dati, emersi dalla elaborazione delle risposte al questionario o forniti direttamente dalle ditte, con dati analoghi relativi alla situazione nel Regno Unito, (la cui popolazione totale è uguale a quella italiana), desunti da un censimento condotto dalla Royal Microscopical Society di Londra, ed aggiornato al 19 maggio 1980 [5].

Nella Fig. 3 sono riportati il numero totale dei microscopi elettronici presenti in Italia (al 1980) ed il numero di quelli in funzione nel Regno Unito (al 1980), nonché le divisioni percentuali fra settori d'impiego nei due paesi. Complessivamente il numero dei microscopi in Gran Bretagna è 5 volte più alto che in Italia.

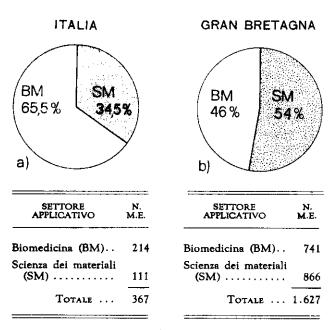


Fig. 3. – Confronto fra il numero di microscopi elettronici presenti al 1980 in Italia e nel Regno Unito (di fatto Gran Bretagna, in quanto il numero di microscopi elettronici installati nell'Ulster è irrilevante). Vengono riportate le distribuzioni percentuali per settore di ricerca. I dati relativi all'Italia sono stati ritevati dagli elenchi dei microscopi elettronici venduti in Italia, forniti dalle ditte costruttrici. I dati del Regno Unito derivano da un censimento della Royal Microscopical Society di Londra e si riferiscono a microscopi funzionanti ed usati per attività di ricerca.

A titolo di esempio che induce alla meditazione, riportiamo nella Tab. 8 il numero dei microscopi elettronici installati in Italia e Gran Bretagna presso enti equivalenti.

Al semplice divario quantitativo va aggiunto che c'è una notevole differenza qualitativa nella strumentazione disponibile nei due paesi.

Infatti in Italia non sono presenti strumenti dalle prestazioni altamente qualificate e di costo elevato, ad esempio, microscopi ad alta tensione, ad alta risoluzione ed a scansione in trasmissione. Al contrario una parte della strumentazione inglese è costituita da tali attrezzature, che le industrie di ottica elettronica ivi esistenti hanno costruito, con la collaborazione o sfruttando le competenze presenti nelle Università od in Enti di ricerca, per soddisfare le esigenze più avanzate dell'indagine microscopica. Esiste cioè un contatto stretto e continuo fra costruttore ed utente, che consente la realizzazione ed il perfezionamento di nuova strumentazione che, a sua volta, apre la via al conseguimento di risultati d'avanguardia, di grande valore scientifico.

Tabella 8. – Confronto esemplificativo tra l'Italia e la Gran Bretagna per tipo e numero di microscopi elettronici installati presso enti pubblici e privati equivalenti.

ENTE BRITANNICO ED EQUIVALENTE ITALIANO	TEM	HVEM	SEM	TOTALE M.E.
Public Health Laboratory Service	23	_		23
Istituto Superiore Sanità	3	_	_	3
ICI	17	_	12	29
ENI	1		2	3
Rolls Royce	3		9	12
FIAT	2	_	2	3
British Steel Corp	12	1	14	27
FINSIDER	_			
UKAEA	27	1	15	43
CNEN	4	_	1	5

TEM: Microscopio elettronico a trasmissione; HVEM: Microscopio elettronico ad alta tensione; SEM: Microscopio elettronico a scansione.

Va notato inoltre che mentre in Italia il 65,5 % dei microscopi elettronici è utilizzato nel settore biomedico, nel Regno Unito questa percentuale scende al 46 % mentre si alza al 54 % la percentuale degli strumenti utilizzati nel settore della Scienza dei Materiali. Questa diversa distribuzione riflette il diverso peso che le due discipline hanno nei due paesi, peso che una analisi della distribuzione fra SEM e TEM nei due settori di ricerca (Tab. 1) consente di approfondire. Infatti i rapporti globali TEM/SEM (indipendentemente cioè dal settore di ricerca) non sono molto dissimili fra Italia e Gran Bretagna (circa 2:1 per quest'ultima e 2,34:1 per l'Italia; la differenza potrebbe indicare un lieve ritardo da parte italiana nell'acquisizione di nuova strumentazione), mentre questi rapporti cambiano notevolmente se si tiene conto del settore di utilizzo.

In campo biomedico sia in Italia che in Gran Bretagna circa l'85 % dei microscopi elettronici è rappresentato da TEM ed il restante 15 % da SEM; differente è invece la distribuzione per tipo di utilizzo; infatti in fisica e nella scienza dei materiali in Italia sono utilizzati TEM per un 44 % mentre in Gran Bretagna tale percentuale si alza al 55 %, ed il 45 % dei SEM è utilizzato dall'industria. Come accennato nell'intro-

duzione, i TEM sono apparecchi più complessi, che richiedono una maggiore qualificazione dell'utente e che pertanto vengono usati maggiormente in stretto rapporto con la ricerca; i SEM invece si prestano più ad un impiego di controllo. La più alta percentuale di TEM nel settore non biologico in Gran Bretagna sta pertanto ad indicare un maggiore impulso alla ricerca in questo settore che non in Italia.

Per quanto riguarda infine la produzione scientifica, i dati relativi al numero delle pubblicazioni per microscopio e per anno, non sono molto diversi nei due paesi. Una certa differenza esiste invece nella distribuzione percentuale delle pubblicazioni per ente di ricerca, anche se il confronto non può essere accurato sia per lo scarso numero di risposte al questionario su questo punto sia perché i dati italiani sono relativi ad una media annua valutata in un arco di 12 anni, mentre quelli inglesi si riferiscono al solo biennio 1974-1975. Il confronto sembra indicare comunque una produzione scientifica percentuale abbastanza simile per gli Enti pubblici di ricerca, mentre all'82 % di pubblicazioni nel settore biomedico dell'Italia corrisponde il 67 % della Gran Bretagna; al contrario, in quest'ultimo paese sono relativamente più attivi i settori industriale ed ospedaliero.

4. - Considerazioni conclusive.

Il contributo scientifico italiano nel settore della microscopia elettronica, nonostante la notevole sproporzione esistente in termini di strumentazione e di personale, risulta sostanzialmente confrontabile, sia sul piano quantitativo che qualitativo, con quello di altri paesi europei, quali la Gran Bretagna.

Esiste tuttavia, a fronte del soddisfacente sviluppo complessivo della microscopia elettronica italiana nella ricerca di base, una sua carente utilizzazione in settori più eminentemente applicativi, sia a livello industriale (controlli di qualità) che a livello delle strutture di servizio (controlli ambientali, perizie medico-legali, esami diagnostici, ecc.).

Per quanto concerne inoltre la politica di investimenti attuata in questo settore si può constatare come il maggior impegno finanziario per l'acquisto di strumentazione risulti relativo agli anni fra il 1968 e il 1974. Successivamente la staticità dei finanziamenti, cui si è aggiunto l'aumento notevole del costo delle apparecchiature, ha reso più difficile l'acquisto di ulteriori strumenti e lo stesso rinnovo di quelli esistenti. È da sottolineare che tale fenomeno si è verificato nel contesto di una disponibilità strumentale che, ove confrontata con quella di altri paesi europei, risulta gravemente carente. Tale politica scientifica ha determinato la preoccupante situazione per cui anche gruppi di ricerca di valore internazionale dispongono oggi di strumenti ampiamente superati e spesso al limite del collasso. Inoltre alcuni strumenti (STEM ad alta risoluzione, HVEM, ecc.), utilizzati da anni in paesi a livello di sviluppo comparabile al nostro, non sono presenti in alcuna struttura di ricerca italiana.

Emerge inoltre una situazione assai preoccupante per quanto concerne il numero e la distribuzione del personale, soprattutto tecnico, nelle unità di ricerca. Essa risulta infatti caratterizzata da decisa carenza numerica, notevole staticità ed elevata età media, a causa del sostanziale blocco delle assunzioni verificatosi nell'ultimo decennio.

In definitiva i dati raccolti sottolineano la necessità di promuovere iniziative che possano portare ad un deciso miglioramento della situazione della microscopia elettronica in Italia. In particolare, in accordo con esigenze e prassi largamente verificate nell'ambito della organizzazione della ricerca, si ritiene debba privilegiarsi il potenziamento delle strutture già esistenti e maggiormente qualificate e la eventuale istituzione di nuovi centri di ricerca, ove far convergere strumentazioni particolarmente impegnative. Tali strumentazioni dovranno comunque risultare inserite in contesti di indiscutibile affidabilità scientifica e rappresentare punti di riferimento per vaste aree di utilizzazione. Sarà infine necessario che tale auspicabile politica di sviluppo sia associata ad adeguate iniziative tendenti a realizzare una migliore qualificazione professionale, sia dei tecnici che dei ricercatori, attraverso la realizzazione di specifici corsi di addestramento e perfezionamento.

BIBLIOGRAFIA

- 1. BACCETTI, B., CLEMENTI, F., DONELLI, G., LASCHI, R., PASQUALI-RONCHETTI, I., SAITA, A., & VALDRÉ, U. 1980. Indagine sullo stato della microscopia elettronica in Italia. Rapporti Istituto Superiore di Sanità, ISSN-0391-1675, Roma, p. 121.
- 2. Bisogno, P. 1978. Il ricercatore oggi in Italia. F. Angeli (Ed.). Milano.
- Merli, P.G., Armigliato, A. & Pedulli, L. 1975. Dati statistici relativi allo stato della microscopia elettronica in Italia. In: Atti del Convegno del Gruppo Strumentazione e Tecniche non Biologiche della Società Italiana di Microscopia Elettronica. Cooperativa Libraria Universitaria Editore, Bologna, pp. 155-162.
- 4. GARFIELD, E. 1977. Journal citation studies. 30. Italian Journals. Current Contents, n. 4.
- List of Electron Microscopes throghout the U.K. Ottenibile da: Royal Microscopical Society, 37/38 St. Clements, Oxford OX4 1AJ, Inghilterra.