

La valutazione biochimica del danno saturnino: importanza e significato della determinazione della zinco-protoporfirina-IX eritrocitaria e dell'aminogramma urinario

F. SANGUINETTI (a), M. DOMPÈ (b) e G. RONCA (c)

(a) Centro per lo Studio e la Prevenzione delle Malattie Cardiache, Reumatiche e Professionali « A. Sanguinetti », Ravenna

(b) Servizio di Coordinamento delle Attività Sanitarie e di Igiene del Lavoro ANIC, S. Donato Milanese

(c) Istituto di Chimica Biologica, Università di Pisa

Un corretto approccio epidemiologico-clinico al saturnismo comporta la soluzione di due problemi di biochimica clinica strettamente correlati: la diagnosi precoce dell'esposizione al piombo e la valutazione del danno metabolico arrecato all'organismo umano.

Il test biochimico più sensibile e specifico oggi in uso ai fini della identificazione precoce del saturnismo sub-clinico come della conferma diagnostica del saturnismo clinico è rappresentato dalla determinazione dell'attività δ -aminolevulinicoideidratasi (ALA-D) eritrocitaria, cioè dell'attività enzimatica implicata in una delle reazioni chiave del processo di biosintesi delle porfirine, specificamente inibito dal piombo. Si tratta di un test assai valido in quanto si positivizza anche dopo pochi giorni di una moderata esposizione saturnina, mentre nelle stesse condizioni il danno metabolico evidenziabile mediante la determinazione delle coproporfirine urinarie (CPU) e dell'acido δ -aminolevulinico urinario (ALAU) non si rivela prima di alcune settimane [1].

Tuttavia anche questo test non risulta del tutto soddisfacente. In primo luogo si tratta di un reperto di significato non univoco in quanto può esprimere sia il danno metabolico che un'esposizione saturnina; l'attività ALA-D eritrocitaria determinata *in vitro* viene a dipendere strettamente dalla quantità di piombo presente nel sistema e può essere influenzata, come nel caso della piombemia, da un'esposizione occasionale immediatamente precedente il prelievo (la permanenza prolungata in una strada di grande traffico automobilistico) come da inquinamenti successivi al prelievo del campione [2, 3]. La determinazione dell'attività ALA-D presenta diverse difficoltà tecniche dato che l'enzima si degrada rapidamente e presenta una sensibile

perdita di attività già a poche ore dal prelievo. Diverse tecniche sono state proposte per la sua determinazione; la più semplice e la più diffusa è quella proposta da Bonsignore e coll. [4], che ben si presta all'esecuzione in serie ed è utilizzabile per le indagini di massa. Essa risente, tuttavia, del fenomeno della saturazione e perde in sensibilità per valori di inibizione superiori all'80 % dell'attività.

La determinazione della protoporfirina IX eritrocitaria è stata proposta come parametro biochimico alternativo o complementare in quanto non risente di alcuna contaminazione da piombo ed esprime un reperto metabolico, che permane a lungo alterato, consentendo una valutazione di casi pregressi. Non è, però, specifico per il saturnismo in quanto può aumentare anche nell'anemia sideropenica come in alcune forme di porfiria.

Numerose sono le tecniche proposte per la determinazione della protoporfirina IX eritrocitaria; in genere esse comprendono un'estrazione con solvente organico, una riestrazione con acido cloridrico diluito ed una determinazione quantitativa per via spettrofotometrica o fluorimetrica. Queste tecniche sono state esaminate criticamente da Loria [5], che ha riscontrato una notevole difficoltà dalla standardizzazione del metodo di estrazione della protoporfirina. Questo A. ha osservato che per ottenere un completo ricupero del metabolita sono necessarie da sette a nove successive estrazioni, mentre con sei estrazioni si realizza una resa dell'80-90%. Il reperto è interessante in quanto spiega come la determinazione della protoporfirina IX eritrocitaria porti qualche volta a risultati discordanti; peraltro questo parametro biochimico diviene difficilmente utilizzabile nella normale routine del *dépistage* di massa o dei controlli periodici di igiene industriale a causa della sua indaginosità.

Le recenti ricerche di Lamola e coll. [6] hanno portato un contributo forse risolutivo al problema. Questi AA. hanno osservato che nell'intossicazione saturnina si riscontra l'aumento di una particolare frazione protoporfirica eritrocitaria: la protoporfirina IX legata allo zinco o zinco-protoporfirina (ZPP). Lo stesso Lamola (7) ha proposto una tecnica assai semplice e sensibile per la determinazione spettrofluorimetrica della ZPP, che consente di evitare la interferenza della protoporfirina IX libera, che aumenta nelle porfirie. La determinazione della ZPP risulta, allora, più specifica di quella della protoporfirina IX eritrocitaria in quanto si trova aumentata, oltre che nel saturnismo, soltanto nell'anemia sideropenica. Si tratta, inoltre, di un metabolita abbastanza stabile e la sua determinazione può essere eseguita anche diversi giorni dopo il prelievo, contrariamente a quanto si verifica per l'ALA-D eritrocitaria. La metodica di Lamola consente, infine, l'esecuzione del dosaggio entro pochi minuti dal prelievo e ne permette l'utilizzazione per gli eventuali *dépistage* del saturnismo non professionale, per i quali è essenziale poter disporre di risultati immediati.

Le determinazioni dell'ALA-D e della ZPP eritrocitarie esprimono l'esistenza di un danno metabolico tipicamente compartimentalizzato, che il piombo causa interferendo nel processo di biosintesi porfirinica. Si tratta di reperti analoghi, come significato, a quelli ottenibili con la determinazione dell'ALAU e delle CPU, anche se situati ad un livello molto più elevato di sensibilità e di specificità. Tuttavia l'azione nociva del piombo non si limita al sistema emopoietico ed investe altri organi e tessuti. È noto che nel saturnismo si può osservare una compromissione di vario grado della funzione renale: sarebbe opportuno poter disporre di qualche test biochimico in grado di rilevare questo danno precocemente.

Goyer e coll. [8], basandosi sull'osservazione sperimentale relativa ad un aumento della glicinuria nel ratto e nel coniglio intossicati da piombo [9, 10], hanno ricercato la presenza di eventuali modificazioni della escrezione urinaria di aminoacidi in un gruppo di lavoratori esposti al piombo. Questi AA. hanno potuto constatare in alcuni casi un significativo aumento della glicinuria e della alaninuria; tale reperto presentava una incidenza di scarso rilievo ed appariva assai meno sensibile della determinazione dell'ALAU e delle CPU.

Nel quadro di un vasto programma di indagini concernenti la valutazione biochimica del danno saturnino, abbiamo ritenuto opportuno fornire il contributo della nostra casistica ad un ulteriore approfondimento dei problemi descritti. A tal fine abbiamo condotto due distinte ricerche: nella prima abbiamo eseguito in parallelo la determinazione della ZPP e dell'ALA-D eritrocitarie in un gruppo di operai dell'industria ceramica; in una seconda abbiamo determinato l'aminogramma urinario in un gruppo di soggetti colpiti da saturnismo professionale.

MATERIALI E METODI

Le determinazioni dell'attività ALA-D e della ZPP eritrocitarie sono state eseguite in un gruppo di operai dell'industria ceramica durante uno dei periodici controlli della crisi ematica e dei metaboliti urinari; venivano esclusi i reperti concernenti soggetti anemici dato che la ZPP eritrocitaria presenta valori elevati anche nelle anemie sideropeniche.

I campioni di sangue venoso per la determinazione della ZPP e dell'attività ALA-D eritrocitaria venivano prelevati mediante siringhe monouso e conservati in tubi Venoject T-206 KA contenenti eparina. Ambedue le determinazioni venivano eseguite in giornata; la conservazione dei campioni in frigorifero a 4 °C per qualche giorno non altera sensibilmente il contenuto eritrocitario in ZPP, ma può causare una notevole diminuzione dell'attività ALA-D.

La determinazione della ZPP eritrocitaria veniva eseguita secondo la tecnica di Lamola e coll. [7] con lievi modificazioni. A ml 5 di una soluzione di tampone fosfato 10 mM a pH 7,4 venivano addizionati ml 0,02 di sangue eparinato. A emolisi completata il campione veniva filtrato in una unità filtrante Swinnex della Ditta Millipore con filtri da 25 mm al fine di eliminare ogni elemento corpuscolato. Sul filtrato, limpido, veniva eseguita la determinazione spettrofluorimetrica della ZPP, usando uno standard puro come riferimento (*). Le misure venivano eseguite allo spettrofluorimetro mod. 204 della Ditta Perkin-Elmer, alimentato con una lampada a xenon e munito di registratore Hitachi Perkin-Elmer mod. 165. L'eccitazione avveniva alla lunghezza d'onda di $m\mu$ 424 ed il picco di emissione veniva registrato a $m\mu$ 594. Dal confronto dell'altezza dei picchi si otteneva la concentrazione in ZPP dei campioni.

La determinazione dell'attività ALA-D eritrocitaria è stata eseguita con la tecnica proposta da Bonsignore [4], che abbiamo riscontrato come la più semplice e la meglio rispondente alle necessità della routine dei controlli periodici.

La determinazione delle CPU e dell'ALAU veniva eseguita impiegando i Kits della Ditta Bio-Rad; la piomburia veniva determinata mediante spettrofotometria ad assorbimento atomico con un apparecchio Perkin-Elmer mod. 290 munito di accessorio *sampling boat* secondo la tecnica di Kahn [11]. L'aminogramma urinario veniva eseguito secondo la tecnica di Stein e Moore [12].

Come soggetti per la seconda indagine abbiamo scelto un campione di operai dell'industria ceramica, i cui controlli periodici dei metaboliti urinari del processo di porfirinogenesi avevano dato esito positivo.

RISULTATI E DISCUSSIONE

I risultati dell'indagine diretta a valutare il significato della determinazione della ZPP eritrocitaria sono illustrati nella Fig. 1. La determinazione di questo metabolita è stata eseguita in parallelo alla determinazione dell'attività ALA-D eritrocitaria in un campione di soggetti professionalmente esposti al piombo (operai dell'industria ceramica) messo a confronto con un campione, di composizione simile per quanto riguarda il sesso e l'età, di individui sani e non esposti. Il campione di individui esposti è stato diviso in tre distinti gruppi sulle basi della diminuzione dell'attività ALA-D eritrocitaria secondo il seguente schema:

Gruppo O : valori riscontrati nei soggetti di controllo.

(*) Campioni già pesati di standard venivano forniti dalla « Porphyrin Products » P. O. Box 31, Logan, Utah 84321, USA.

Gruppo I : valori di ALA-D compresi fra il 100 ed il 55 %.

Gruppo II : valori di ALA-D compresi fra il 55 ed il 30 %.

Gruppo III : valori di ALA-D inferiori al 30 %.

L'attività ALA-D è stata espressa in unità/ml come descritto da Bon-signore e coll. [4]; la ZPP in $\mu\text{g} \%$ ml di sangue in toto. Nel gruppo I si osserva una diminuzione dell'attività ALA-D del 20 % ed un aumento della ZPP del 40 % rispetto ai valori medi riscontrati nei soggetti del gruppo 0. Nel gruppo II l'ALA-D appare al 40 % del valore medio normale mentre la ZPP raggiunge un valore medio di $\mu\text{g} \%$ 19 % con un aumento del 204 %. Nel Gruppo III il valore medio dell'ALA-D scende al 21 % e la ZPP sale a $\mu\text{g} \%$ 41,7 % come valore medio con un aumento del 567 %.

Come appare dal grafico della Fig. 1 la determinazione della ZPP eritrocitaria si rivela assai utile per la diagnosi e la valutazione del danno metabolico nel saturnismo.

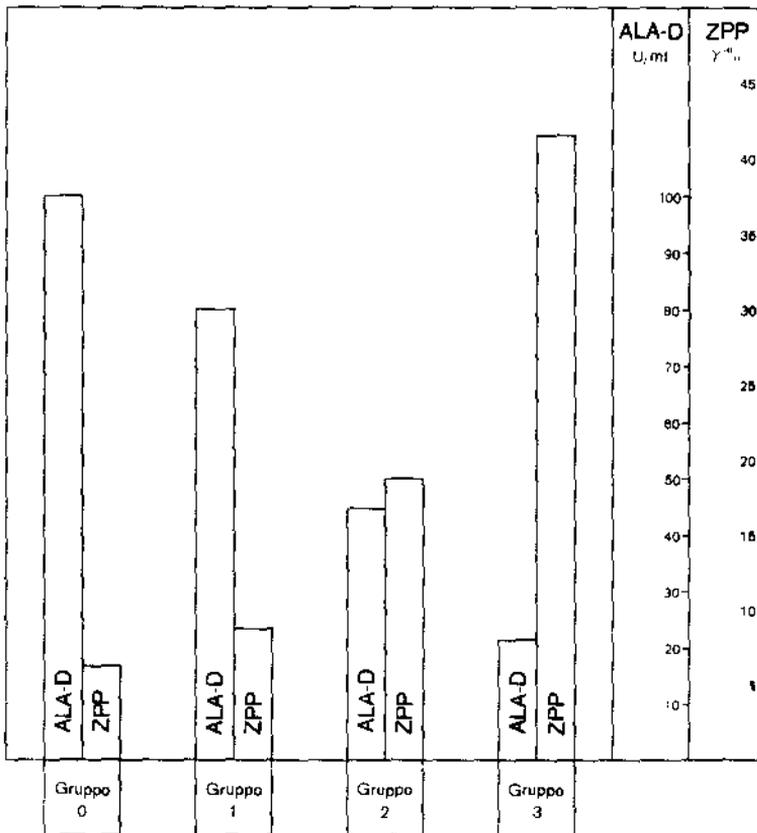


Fig. 1 — Correlazioni fra attività ALA-D (δ -aminolevulinicodeidratasi) e concentrazione di ZPP (zinco-protoporfirina) eritrocitarie nel saturnismo.

TABELLA I

L'aminogramma urinario nel saturnismo professionale

M. V. N. U.	CPU mg/l	ALAU mg %	Asp	Thr	Pro	Gly	Ala	Cys	Val	Ile	Leu	Tyr	Phe	Lys	Arg
1. - Nerio A.	760	4,00	5,3	—	2,2	180	47,5	10,5	T	12,2	14,1	34,5	36,3	—	—
2. - Domenico B.	800	1,70	4,3	8,2	4,8	262	58,5	18,9	12,4	20,6	24,4	73,8	49	56	5,6
3. - Antonio B.	560	2,70	13,0	6,0	3,0	560	61	20	6,2	19,3	19,4	39,5	22	35	6,8
4. - Guido B.	425	1,40	9,3	32	T	182	39,5	38	4	24	23	23,6	19,6	28,9	7,5
5. - Oberdino B.	525	1,53	6,2	—	6,9	121	22,3	13,7	5,6	13,2	14,5	19,5	14	21,6	3,5
6. - Giovanni B.	800	2,25	10,7	20,5	T	95,7	21,3	15,6	T	8,8	13,9	22,4	12,3	37,5	3,8
7. - Giannetto B.	400	0,66	4,5	54,4	T	149	41	18	T	8,3	9,8	28,5	19,0	85	6,9
8. - Vittorio D.	375	4,00	6,2	27,6	1,2	218	55	19,6	10,3	31,9	25	47,5	26,5	37	9,7
9. - Balilla F.	342	1,20	8	22	7,8	128	47	13	3,2	7	5	28,4	12,8	16	1,9
10. - Angelo L.	1.745	6,28	2,5	5,7	13,4	124	33	14,4	5,2	10,5	8,9	21	20,5	61,6	4,3
11. - Bruno L.	1.120	2,00	21,6	73,7	T	327	87	29,5	11,2	19	17	40	24	117	20,7
12. - Bruno M.	175	1,30	34	8,2	T	195	62	8	5,9	9,7	2,5	27,5	13,9	—	—
13. - Sauro O.	1.360	4,71	22	28	4,7	170	50,5	23,5	7,8	14	11	35	17	38,5	4,6
14. - Sergio P.	625	2,25	10,8	16,2	2,6	258	61	9,3	4,6	12	12,7	18	12,5	25,8	7,6
15. - Luciano P.	655	3,78	9,5	5,6	2,6	258	61	9,3	4,6	12	12,7	18	12,5	43	3,8
16. - Tarcisio P.	455	1,50	3,2	4,1	T	87	11,5	7,9	10,8	9,4	10,9	18,8	13,8	39,4	3,4
17. - Almerigo P.	665	2,14	11,7	5,2	16,6	316,8	66	17,4	6,2	15	11	37,4	21,7	72	3
18. - Giuseppe P.	110	1,33	10,5	26	T	112,6	18,5	19,3	5,8	10,7	10	26	13,8	28	6
19. - Nicola R.	1.040	4,28	T	18	T	222	63,4	13	6,6	13,3	8,6	36	18	37	4
20. - Domenico S.	190	1,00	8,9	7,9	3,7	309	65,4	12	11,8	19,4	16,4	44,3	22,2	59,5	6,5
21. - Pietro S.	360	1,93	11,7	22,3	10,3	121	32,4	14,2	5,4	12,3	11,6	15,3	13	30	6,2
22. - Vittorio T.	1.250	3,20	2,8	2,5	T	163	8,1	10,2	T	6,8	7,3	13,7	7,2	13,4	T
23. - Angelo T.	612	2,82	7,0	8,3	T	193,5	19,7	10,6	3,1	5,3	9,3	14,1	15,4	11,9	T
24. - Silvano T.	340	1,26	5	7,3	T	147,3	45,2	8,8	3,5	T	6,5	28,3	15,3	17	T
25. - Romano C.	184	2,23	10,3	22,6	T	90,8	49,7	31,6	7,8	5,7	13,7	26,8	20,1	24,1	2,2

M.V.N.U. = massimo valore normale urinario. CPU = ciproproprione urinario. ALAU = acido delta-aminolevulinico urinario. Asp = ac. aspartico, Thr = treonina
 Pro = prolina, Gly = glicina, Ala = alanina, Cys = cistina, Val = valina, Ile = isoleucina, Leu = leucina, Tyr = tirosina, Phe = fenilalanina, Lys = lisina, Arg = arginina

Nella seconda parte dell'indagine abbiamo cercato di valutare il significato dell'aminogramma urinario quale test di danno metabolico saturnino in confronto con i noti test dell'ALAU e delle CPU. L'aminoaciduria è stata determinata in un campione di 25 soggetti esposti al piombo (operai dell'industria ceramica) nei quali l'ALAU e le CPU presentavano valori dimostranti un evidente danno metabolico. I dati ottenuti sono esposti nella Tab. 1. Si può osservare un'aumentata escrezione di diversi aminoacidi, ma appaiono rilevanti come incidenza soltanto l'iperglicinuria e l'iperlisinuria. La glicinuria presenta valori superiori ai M.V.N.U. (massimi valori normali urinari) nel 32 % dei casi e vi si approssima nel 18 % dei casi; la lisinuria supera i M.V.N.U. nel 28 % dei casi. Non appare, invece, significativa l'escrezione di alanina, che si trova aumentata solo in due casi.

L'interpretazione di questi dati non è agevole: l'aminogramma urinario si conferma come un'indagine di un certo interesse nel controllo del danno metabolico saturnino, anche se la sua sensibilità non raggiunge quella dei classici test, ALAU e CPU. L'aumento della glicinuria può essere attribuito ad un danno tubulare iniziale [8] in quanto il sistema di riassorbimento tubulare della glicina appare critico rispetto a quello degli altri aminoacidi; questa ipotesi, pur necessitando di ulteriori conferme, è confortata dal mancato riscontro di un aumento della glicinemia nei descritti casi di iperglicinuria [12].

L'aumentata escrezione di lisina sembra, invece, da attribuire ad un diverso meccanismo in quanto ad essa viene a corrispondere un aumento della lisinemia [12]; non sappiamo, tuttavia, a quale livello del metabolismo della lisina possa verificarsi l'interferenza del piombo. Ulteriori indagini sono in programma per meglio chiarire la natura del fenomeno osservato.

Riassunto. — La biochimica clinica del saturnismo comporta la soluzione di due problemi strettamente correlati: la diagnosi precoce dell'intossicazione e la valutazione del danno metabolico.

La ricerca biochimica più sensibile per il riconoscimento diagnostico del saturnismo in fase sub-clinica è rappresentata dalla determinazione dell'attività δ -aminolevulinico deidratasi (ALA-D) eritrocitaria; si tratta, peraltro di una tecnica di non sempre agevole esecuzione e di difficile standardizzazione.

La determinazione della zinco-protoporfirina (ZPP) eritrocitaria è stata proposta come test biochimico alternativo o ausiliario in quanto non risente della contaminazione da piombo, riguarda un metabolita abbastanza stabile ed è dotata di elevata specificità.

Al fine di controllare la validità di questa proposta abbiamo eseguito in parallelo su un campione di soggetti esposti al piombo sia la determinazione dell'ALA-D che quella della ZPP negli eritrociti. Si è potuta osservare

una stretta interrelazione fra i due parametri, confermando la significatività della determinazione della ZPP eritrocitaria al fine di una diagnosi precoce del saturnismo.

Al fine di arricchire i dati disponibili sul danno metabolico saturnino abbiamo anche indagato sul significato dell'aminogramma urinario, di recente ripreso in esame in questo settore di ricerca. I dati ottenuti su un campione omogeneo di soggetti affetti da saturnismo subclinico ci hanno permesso di osservare un'aumentata escrezione di diversi aminoacidi. In particolare si riscontra in una discreta percentuale di casi un aumento della glicinuria e della lisinuria; quest'ultimo reperto appare di notevole interesse in quanto parrebbe corrispondere ad un'alterazione metabolica finora sconosciuta nel saturnismo.

Summary (*Determination of erythrocyte zinc-protoporphyrin IX and aminoacid urinary excretion for the evaluation of lead intoxication*). — The early detection of lead intoxication needs practical, simple, reproducible and diagnostically valid screening test. The determination of ALA-D (δ -amino-levulinic acid-dehydratase) in erythrocytes is one of the most reliable test for the evaluation of the occupational exposure to lead. However this test is difficult to standardize, sensible to lead contamination of laboratory glassware and the activity of enzyme decreases rapidly if stored.

The determination of erythrocytes ZPP (zinc-protoporphyrin IX) was proposed as useful, alternative test. The protoporphyrin IX is a metabolic intermediate in heme biosynthesis; in erythrocytes is present as free form and zinc-bound compound. The ZPP give high values only in lead intoxication and sideropenic anemia. The ALA-D and ZPP in erythrocytes were measured and compared in a group of workers exposed to lead. We have shown a good correlation between these two biochemical parameters. Aminoacid excretion in urine from workers exposed to lead was measured and compared with other biochemical parameters of intoxication. All lead workers examined had excessive urinary CP (coproporphyrin) and ALA (δ -amino-levulinic acid) excretion. An abnormal excretion of glycine was present in eight workers (32 %), whereas in other four (15 %) the glicinuria was at limit of normal values. An abnormal excretion of lysine was present in six workers (21 %). The last data appear very interesting because the action of lead in lysine metabolism was not known.

BIBLIOGRAFIA

1. TOLA, S., S. HERNBERG, S. ASP & J. NIKKANEN. 1973. Parameters indicative of absorption and biological effect in new lead exposure: a prospective study. *Brit. J. Ind. Med.* **30**: 134-141.

2. SANGUINETTI, F. 1974. L'inquinamento da piombo e la difesa dell'ambiente. In: *Corso teorico-pratico di spettroscopia di assorbimento atomico*. Frigerio (Ed.) pp. 129-190.
3. ZAK ELMAN, E., D. KENNETH WALLICK & I. M. REINGOLD 1971. Vacutainer contamination in trace-element studies. *Clin. Chem.* 17: 61-62
4. BONSIGNORE, D., P. CALISSANO & C. CARTASEGNA. 1965. Un semplice metodo per la determinazione della delta-aminolevulinico-deidratasi nel sangue. *Med. Lav.* 56: 199-205.
5. LORIA, A. & E. DILLMANN. 1975. Difference in extractability of porphyrins from blood of anemic persons. *Clin. Chem.* 21: 1850-1852.
6. LAMOLA, A. A. & T. YAMANE. 1974. Zinc protoporphyrin in the erythrocyte of patients with lead intoxication and iron deficiency anemia. *Science*. 186: 936-938.
7. LAMOLA, A.A., M. JOSELOW & T. YAMANE. 1975. Zinc protoporphyrin (ZPP). A simple, sensitive, fluorimetric screening test for lead poisoning. *Clin. Chem.* 21: 93-97.
8. GOYER, R. A., K. TSUCHIYA, D. L. LEONARD & H. KARYO. 1972. Aminoaciduria in Japanese workers in the lead and cadmium industries. *Amer. J. Clin. Pathol.* 57: 635-642.
9. GOYER, R. A., D. L. LEONARD, P. R. BREAN & T. G. IRONS. 1970. Aminoaciduria in experimental lead poisoning. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 135: 767-771.
10. VON STUDNITZ, W. & B. HAEGER-ARONSEN. 1962. Urinary excretion of aminoacids in lead poisoned rabbits. *Acta Pharm. Toxicol.* 19: 36-42.
11. KAHN, H. L. & J. E. SEBESTYEN. 1970. The determination of lead in blood and urine by atomic absorption spectrophotometry, with sampling boat system. *At. Absorption Newslett.* 9: 33-38.
12. LUCACCHINI, A. & E. MEUCCI. 1975. L'aminoaciduria nella diagnosi e valutazione del danno saturnino. *Atti del Convegno di Bagnacavallo: Il ruolo del piombo nella moderna patologia ambientale*. In corso di stampa.

Callicreina urinaria e rischio di saturnismo

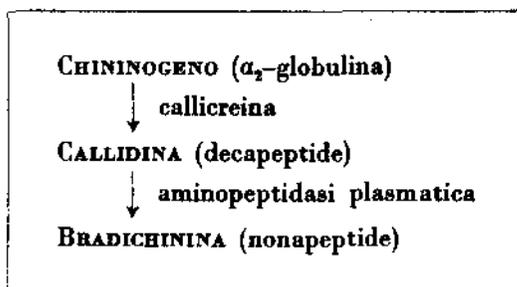
A. IANNACCONE (a), G. PORCELLI (b) e P. BOSCOLO (a)

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

(b) Istituto di Chimica, Università Cattolica del S. Cuore; Centro di Chimica dei Recettori del C. N. R., Roma

INTRODUZIONE

La callicreina (o chininogenasi) è un enzima prodotto verosimilmente nel rene ed eliminato con le urine [1-3]. Essa trasforma (Schema 1) il chininogeno (una α_2 -globulina plasmatica sintetizzata dal fegato) in callidina (o lisil-bradichinina), un decapeptide che a sua volta, per azione di un'aminopeptidasi plasmatica, è trasformata in un nonapeptide, la bradichinina [4, 5]. Questi peptidi sono potenti vasodilatatori [4] ed inoltre causano marcata natriuresi [6-9]. Era pertanto naturale che si pensasse alla callicreina come ad un possibile fattore nella patogenesi dell'ipertensione arteriosa.



SCHEMA 1

Azione della callicreina

Un tale ruolo della callicreina fu prospettato in verità fin dal 1934 da Elliot e Nuzum [10], ma, a causa soprattutto della difficoltà del dosaggio dell'enzima, l'argomento non è stato ulteriormente approfondito sino a qualche anno fa, allorché, messi a punto nuovi, e più semplici ed attendibili metodi per la determinazione della callicreina, esso è stato ripreso in considerazione da alcuni gruppi di studiosi, specialmente al « National Heart and Lung Insti-

tute » di Bethesda [11-13], all'Università Cattolica di Santiago del Cile [3, 14-16] e all'Università Cattolica di Roma [15-20].

Dalle ricerche finora effettuate nell'ipertensione arteriosa umana risulta che l'escrezione urinaria della callicreina è diminuita nell'ipertensione essenziale [11, 12, 18], è diminuita o è normale nell'ipertensione secondaria a stenosi dell'arteria renale [11, 13, 18], mentre è aumentata nell'ipertensione secondaria ad aldosteronismo primario o a feocromocitoma [11, 12].

Poiché l'intossicazione da piombo provoca ipertensione arteriosa attraverso un meccanismo patogenetico non ancora del tutto chiaro, ci è sembrato utile studiare il comportamento della callicreina urinaria nel saturnismo.

Anzitutto abbiamo condotto una serie di ricerche sperimentali sull'animale [19, 20]. Esse hanno dimostrato che nel coniglio intossicato per due mesi mediante somministrazione di dieta contenente lo 0,1 % di acetato di piombo la callicreina urinaria diminuisce significativamente, e che tale diminuzione persiste due mesi dopo la sospensione dell'intossicazione.

In questo lavoro riferiamo le nostre osservazioni su soggetti esposti professionalmente a rischio di saturnismo. Una comunicazione preliminare su alcuni dei risultati ottenuti fu da noi presentata lo scorso anno [19].

MATERIALI E METODI

Abbiamo esaminato due gruppi di operai, tutti di sesso maschile e di età compresa fra 19 e 45 anni.

Il primo gruppo era costituito da 16 soggetti (Tab. 1): 13 di essi provenivano da due fabbriche, una di accumulatori e l'altra di manufatti plastici (con impiego di stearato di piombo come stabilizzante del cloruro di polivinile), nelle quali il dosaggio del piombo nell'aria ambientale aveva dato valori che spesso superavano il TLV (Threshold Limit Value) degli Igienisti industriali americani (0,15 mg/m³); 1 era tipografo, 1 fonditore di piombo e 1 saldatore con leghe di piombo. Questi 16 operai non mostravano ipertensione arteriosa, né alcun altro segno clinico di saturnismo, né anemia, ma certamente avevano assorbito quantità elevate di piombo, com'è provato dal fatto che, ricoverati nel nostro Istituto di Medicina del Lavoro e sottoposti a trattamento con versenato (1,5 grammi di CaNa₂EDTA *pro die* mediante infusione endovenosa per tre giorni), essi eliminavano attraverso l'urina in almeno uno dei giorni di trattamento oltre 1 mg/24 ore di Pb.

Nelle urine di 24 ore di questi soggetti, raccolte prima della somministrazione di versenato, sono stati dosati il piombo, l'acido delta-amino-levulinico (ALA) e la callicreina.

Il secondo gruppo era formato da altri 34 operai, che lavoravano da 1-5 anni nella stessa fabbrica di accumulatori prima citata e nei quali abbiamo prelevato soltanto l'urina emessa di mattina all'arrivo nello stabili-

TABELLA I

**Callicreina, ALA e piombo nelle urine di 24 ore di operai
con impregnazione da piombo**

Caso n.	Età (anni)	Attività lavorativa	Anzianità lavorativa (anni)	Callicreina (U.E./24 h)	ALA (mg/24 h)	Piombo (μ g/24 h)
1	19	Fabbrica di accumulatori . .	1 ¹ / ₃	0	4,7	90
2	21	Fabbrica di accumulatori . .	1	1,7	7,5	120
3	25	Fabbrica di accumulatori . .	1	19,7	4,4	130
4	27	Fabbrica di accumulatori . .	3	19,3	3,7	200
5	30	Fabbrica di accumulatori . .	1	22,3	10,4	180
6	32	Fabbrica di accumulatori . .	1	42,5	5,9	160
7	34	Fabbrica di accumulatori . .	1	25,9	2,4	150
8	36	Fabbrica di accumulatori . .	2	10,9	8,3	170
9	36	Fabbrica di accumulatori . .	2	11,4	4,9	90
10	38	Fabbrica di accumulatori . .	3	0	6,0	200
11	27	Fabbrica di manufatti plastici	1 ¹ / ₂	21,0	4,0	370
12	30	Fabbrica di manufatti plastici	4	0	4,3	60
13	34	Fabbrica di manufatti plastici	4	4,9	2,3	90
14	45	Tipografia	28	0	4,0	130
15	42	Fonderia di piombo	4	8,8	8,0	130
16	31	Saldatura con leghe di piombo	12	0	4,0	70

mento. Neanche questi operai mostravano ipertensione arteriosa o altri segni clinici di saturnismo, né anemia. Nei singoli campioni di urina è stata dosata la callicreina.

Come soggetti di controllo per il primo e per il secondo gruppo abbiamo adoperato individui sani, non esposti professionalmente a rischio di saturnismo, di sesso maschile e comparabili per età, procedendo alla raccolta delle urine per 24 ore o, rispettivamente, solo di mattino.

Il piombo nelle urine è stato determinato con il metodo di Willis [21], impiegando uno spettrofotometro ad assorbimento atomico Perkin-Elmer mod. 403, l'ALA con il metodo di Davis e coll. [22] e la callicreina con il metodo di Porcelli e Croxatto [15, 17]. Quest'ultimo si basa sulla misura spettrofotometrica dell'attività esterasica che la callicreina esplica sul benzoil-arginina-etil-estere (BAEE); una unità esterasica (U.E.) è definita come la quantità di enzima che idrolizza 0,05 μ M di BAEE/min ed è equivalente a 7,4 unità Frey.

RISULTATI

Nel primo gruppo di operai, ossia nei 16 che certamente avevano assorbito quantità elevate di piombo, l'escrezione urinaria di callicreina per 24 ore (Tab. I e Fig. 1) ha mostrato un valore medio di 11,8 U.E. \pm 3,1 (E.S.), pari a circa la metà di quello dei 25 soggetti di controllo (25,0 U.E. \pm 1,7). La differenza è statisticamente molto significativa ($P < 0,001$).

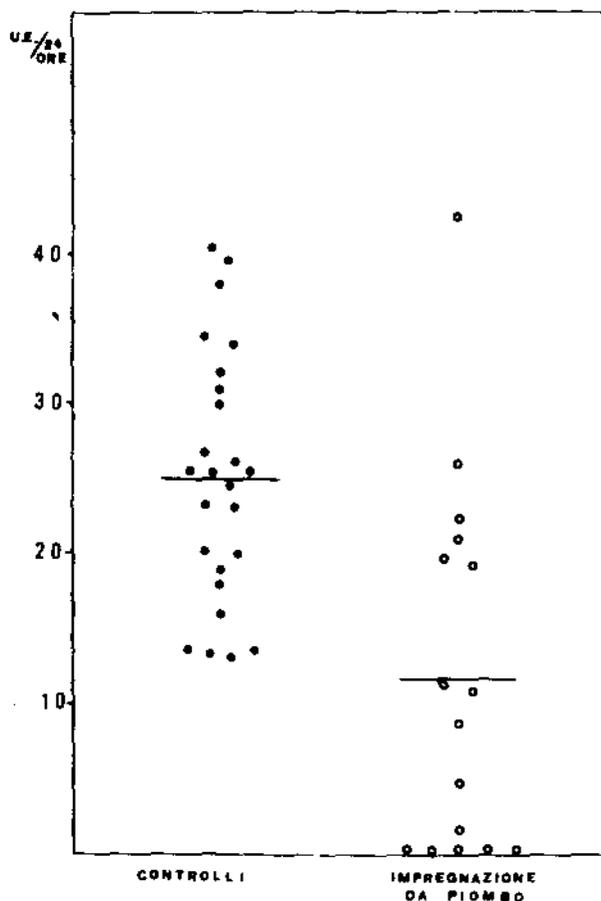
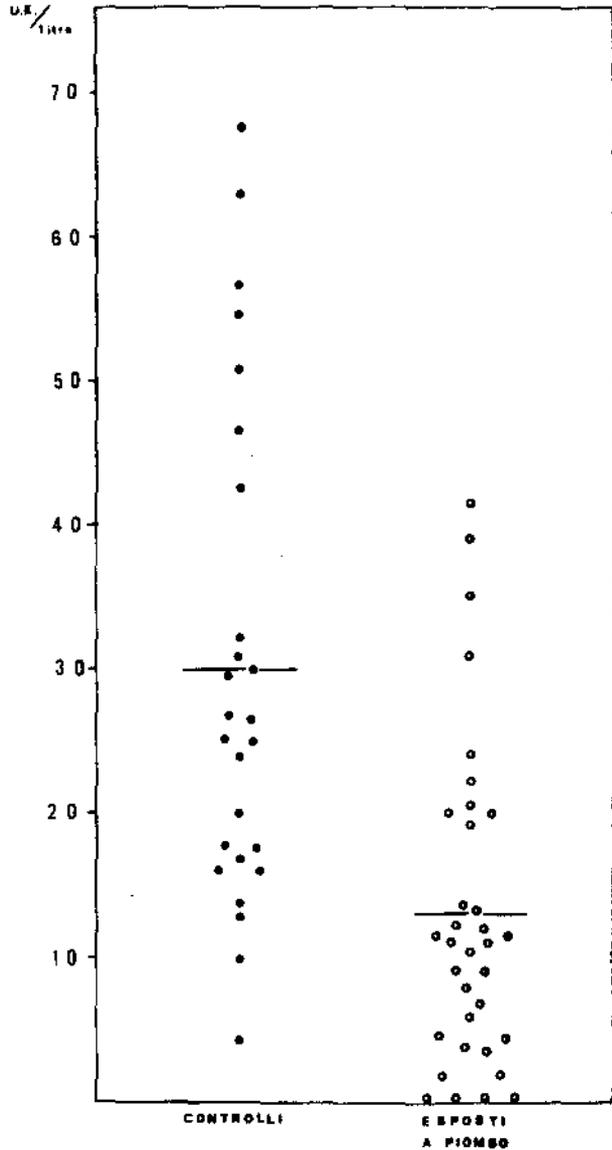


Fig. 1. - Callicreina urinaria (espressa in U.E.) nelle urine di 24 ore di 25 soggetti di controllo e di 16 operai con impregnazione da piombo.

Anche nei 34 operai esposti a piombo in cui sono state raccolte solo le urine del mattino la callicreina urinaria è risultata (Fig. 2) nettamente inferiore a quella dei 26 individui di controllo: la sua media è, infatti, di 12,9 U.E. \pm 1,9 per litro di urina nei primi e di 29,9 U.E. \pm 3,4 nei secondi. Pure in questo caso la differenza è molto significativa ($P < 0,001$).

Fig. 2. — Callicreina urinaria (espressa in U. E./l) nelle urine del mattino di 26 soggetti di controllo e di 34 operai esposti a piombo.



CONCLUSIONI

Dalle nostre ricerche risulta che in soggetti professionalmente esposti a rischio di saturnismo, non presentanti ipertensione arteriosa né altri segni di intossicazione, la callicreina urinaria appare notevolmente diminuita, sia quando è dosata nelle urine di 24 ore, sia quando viene determinata nelle urine del mattino.

Il significato fisiopatologico di tale minore escrezione di callicreina e l'eventuale utilità del suo rilievo come test biologico di esposizione al piombo o ai fini di una diagnosi precoce rimangono da chiarire con ulteriori indagini. Riteniamo comunque opportuno, riferendoci al gruppo di 16 operai sicuramente impregnati di piombo (come dimostrato dalla positività della prova con il versenato), fare osservare che in un caso (Tab. I, n. 2) erano alterati sia l'ALA urinario (nel senso di un aumento oltre il limite massimo normale di 6 mg/24 h) sia la callicreina (nel senso di una diminuzione), in tre casi (n. 5, 8 e 15) l'ALA era alterato e la callicreina normale, mentre in sei casi (n. 1, 10, 12, 13, 14 e 16) l'ALA era normale e la callicreina sicuramente ridotta.

Ciò potrebbe indicare che l'inibizione esercitata dal piombo su alcuni enzimi degli eritroblasti e dei reticolociti preposti alla sintesi dell'eme (del cui blocco è espressione l'aumento dell'ALA urinario) e le alterazioni verosimilmente indotte dal tossico a livello renale a carico della callicreina (enzima che sembra intervenire nella regolazione della pressione arteriosa e delle cui modificazioni l'escrezione urinaria costituisce un'attendibile spia umorale) non decorrono necessariamente in modo parallelo. Rispetto alla misura dell'ALA o di altri precursori dell'eme, finora considerata il test più sensibile dell'azione dannosa del piombo, il dosaggio della callicreina urinaria offrirebbe pertanto la possibilità di mettere in evidenza una diversa, e forse in alcuni casi più precoce, interferenza del metallo nei sistemi enzimatici dell'organismo umano.

Riassunto. — In lavoratori esposti a rischio di saturnismo, non presentanti ipertensione arteriosa né altri segni di intossicazione, la callicreina urinaria è significativamente diminuita.

Rispetto alla misura dell'ALA o di altri precursori dell'eme il dosaggio della callicreina urinaria offrirebbe la possibilità di mettere in evidenza una diversa, e forse in alcuni casi più precoce, interferenza del piombo nei sistemi enzimatici dell'organismo umano.

Summary (*Urinary kallikrein in lead-exposed workers*). — Urinary kallikrein is an enzyme, probably originated in the kidney, which acts on plasma kininogen to produce kallidin, the decapeptide precursor of bradykinin, and appears to be implicated in various forms of arterial hypertension. It is significantly decreased in workers exposed to lead showing no hypertension or other clinical signs of lead poisoning.

In respect to measurement of ALA or other heme precursors the determination of urinary kallikrein seems to be able to detect a different, and perhaps in certain cases earlier, effect of lead intoxication on enzyme functions.

BIBLIOGRAFIA

1. NUSTAD, K. 1970. The relationship between kidney and urinary kininogenase. *Brit. J. Pharmacol.* **39**: 73-86.
2. NUSTAD, K. 1970. Localization of kininogenase in the rat kidney. *Brit. J. Pharmacol.* **39**: 87-98.
3. GARCÍA, R. L., J. S. ROBLERO & H. R. CROXATTO. 1973. Antibodies to rat urinary kallikrein: preparation and specificity. *Acta Physiol. Lat. Amer.* **23**: 561-563.
4. WEBSTER, M. E. & J. V. PIERCE. 1963. The nature of the kallidins released from human plasma by kallikreins and other enzymes. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **104**: 91-105.
5. BRYAN, F. T., J. W. RYAN & R. S. NIEMEYER. 1972. Bradykininogen synthesis by liver. In: *Vasopeptides*. N. Back & F. Sicuteri (Ed.). Plenum Press, New York, pp. 43-47.
6. WEBSTER, M. E. & J. P. GILMORE. 1964. Influence of kallidin-10 on renal function. *Amer. J. Physiol.* **206**: 714-718.
7. BARRACLOUGH, M. A. & I. H. MILLS. 1965. Effect of bradykinin on renal function. *Clin. Sci.* **28**: 69-74.
8. GILL, J. R. JR., K. L. MELMON, L. GILLESPIE Jr., & F. C. BARTTER. 1965. Bradykinin and renal function in normal man: effects of adrenergic blockade. *Amer. J. Physiol.* **209**: 844-848.
9. MARIN-GREZ, M., P. COTTONE & O. A. CARRETERO. 1972. Evidence for an involvement of kinins in regulation of sodium excretion. *Amer. J. Physiol.* **223**: 794-796.
10. ELLIOT, A. H. & F. R. NUZUM. 1934. The urinary excretion of a depressor substance (kallikrein of Frey and Kraut) in arterial hypertension. *Endocrinology* **18**: 462-474.
11. MARGOLIUS, H. S., R. G. GELLER, W. DE JONG, J. J. PISANO & A. SJOERDAMA. 1972. Urinary kallikrein excretion in hypertension. *Circ. Res.* **31** (Suppl. II): 125-131.
12. MARGOLIUS, H. S., D. HORWITZ, J. J. PISANO & H. R. KEISER. 1974. Urinary kallikrein excretion in hypertensive man: relationships to sodium intake and sodium-retaining steroids. *Circ. Res.* **35**: 820-825.
13. KEISER, H. R., H. S. MARGOLIUS & J. J. PISANO. 1974. Urinary kallikrein in renovascular hypertension. Abstr. International Conference on Chemistry and Biology of the Kallikrein-Kinin System in Health and Disease. *Life Sci.* **16**: 817.
14. CROXATTO, H. R. & M. SAN MARTÍN. 1970. Kallikrein-like activity in the urine of renal hypertensive rats. *Experientia* **26**: 1216-1217.
15. PORCELLI, G. & H. R. CROXATTO. 1974-75. Direct U. V. spectrophotometric measurement of urinary kallikrein. *Biochem. Exp. Biol.* **11**: 263-266.
16. PORCELLI, G., G. BIANCHI & H. R. CROXATTO. 1975. Urinary kallikrein excretion in a spontaneously hypertensive strain of rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **149**: 983-986.
17. PORCELLI, G. 1974. Advances in the clinical assay of human urinary kallikrein. *Acta Med. Rom.* **12**: 240-248.
18. GRECO, A. V., G. PORCELLI, H. R. CROXATTO, G. FEDELI & G. GHIRLANDA. 1974. Iper-tensione arteriosa e calliereina urinaria. *Minerva Med.* **65**: 3058-3062.

19. IANNACCONE, A., G. PORCELLI, P. BOSCOLO & M. RANIERI. 1974. Urinary kallikrein excretion in lead intoxication. Abstr. International Conference on Chemistry and Biology of the Kallikrein-Kinin System in Health and Disease. *Life Sci.* **16**: 820.
20. IANNACCONE, A., G. PORCELLI, P. BOSCOLO & M. DI LORIO. 1975. Urinary kallikrein excretion in rabbit lead poisoning. In corso di stampa.
21. WILLIS, J. B. 1962. Determination of lead and other heavy metals in urine by atomic absorption spectroscopy. *Anal. Chem.* **34**: 614-617.
22. DAVIS, J. R., R. H. ABRAHAMS, W. I. FISHEIN & E. A. FABREGA. 1968. Urinary delta aminolevulinic acid (ALA) levels in lead poisoning. *Arch. Environ. Health.* **17**: 164-171.

Lo smorzamento a strato vincolato per il controllo delle vibrazioni e dei rumori negli ambienti di lavoro

F. UGOLINI

Laboratori di Ingegneria Sanitaria, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Il costante aumento dei livelli di rumorosità negli ambienti di lavoro è oggi combattuto agendo sostanzialmente con interventi all'origine e cioè sugli emettitori, con interventi di sbarramento, ponendo cioè in opera adatti schemi lungo le vie di propagazione dei rumori stessi, ed infine con interventi individuali, operando direttamente sull'uomo, isolandolo con mezzi di protezione singola. Naturalmente, tali provvedimenti possono essere adottati singolarmente o combinati tra di loro.

Per quanto concerne le vibrazioni alle quali i lavoratori possono essere assoggettati, il problema, pur avendo delle affinità e delle tangenze con quello dei rumori, si presenta meno studiato per quanto concerne i danni che queste possono arrecare al corpo umano [1].

Il D.P.R. 27 aprile 1955, n. 547 — Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro —, al titolo III, art. 46, prescrive che: « le macchine devono essere costruite, installate e mantenute in modo da evitare scuotimenti e vibrazioni che possono pregiudicare la loro stabilità, la resistenza dei loro elementi e la stabilità degli edifici e non arrecare danno alle persone ».

Il D.P.R. 19 marzo 1956, n. 303 (norme generali per l'Igiene del Lavoro, Cap. 2, difesa dagli agenti nocivi, rumori e scuotimenti, art. 24) prescrive che: « nelle lavorazioni che producono scuotimenti, vibrazioni o rumori dannosi ai lavoratori, devono adottarsi i provvedimenti consigliati dalla tecnica per diminuirne l'intensità ».

Nel campo delle lavorazioni industriali, le vibrazioni prodotte dalle macchine operatrici possono interessare i lavoratori in maniera diretta quando questi sono a contatto con il sistema vibrante, come nel caso di un conduttore di un carrello vibrante, di un carro ponte e simili apparecchiature, oppure essere indirettamente interessati alle vibrazioni quando queste si propagano attraverso il terreno e le strutture fino al lavoratore. Anche in questo caso è sempre opportuno, nei limiti consentiti dalla tecnica, intervenire direttamente all'origine, adottando macchinari e procedimenti capaci di generare

vibrazioni di entità ridotta e, nel caso di impossibilità, ricorrere ai sistemi di isolamento vibratorio, affinché la propagazione delle vibrazioni avvenga con la massima attenuazione. Lo stato vibratorio di un qualsiasi macchinario non statico insorge infatti allorché un sistema materiale dotato di caratteristiche elastiche viene sollecitato da una forza di intensità variabile [2, 3]. Le caratteristiche elastiche del sistema materiale possono essere riferite sia ai vincoli che lo collegano ad un altro sistema (moto relativo tra due o più masse) sia alle proprietà intrinseche del corpo o sistema considerato. Ne consegue che deve operarsi una distinzione tra sistemi a costanti concentrate e sistemi a costanti distribuite. Nei primi le proprietà elastiche sono considerate a livello dei vincoli, mentre nei secondi sono determinate dalle caratteristiche fisiche e geometriche del sistema materiale.

Un sistema a costanti concentrate è costituito da una massa M concentrata nel suo baricentro e collegata ad un sistema fisso con un accoppiamento elastico K e con un accoppiamento frenante di tipo viscoso o ad aria o ad attrito (Fig. 1 *a, b, c*).

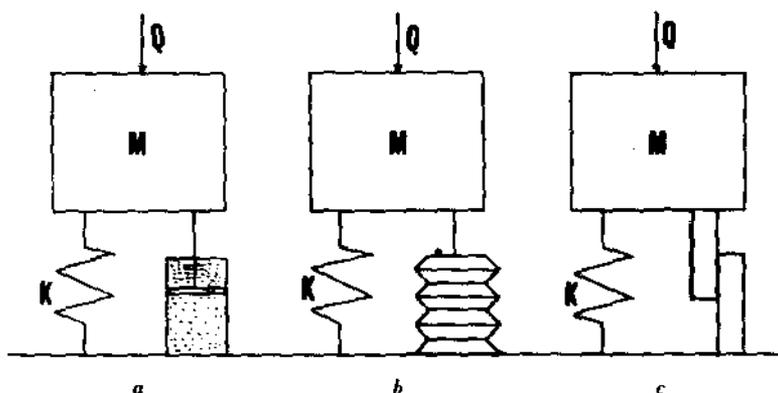


Fig. 1. — Vari tipi di accoppiamenti frenanti: a) frenante di tipo viscoso; b) frenante di tipo ad aria; c) frenante ad attrito.

Un sistema a costanti distribuite si compone di infiniti sistemi elementari del tipo a costanti concentrate, interconnessi e distribuiti in una particolare forma geometrica. Le vibrazioni sono pertanto quei processi dinamici nei quali i corpi vengono assoggettati a periodiche sollecitazioni di tensione, compressione, flessione e torsione, con frequenze che possono andare da qualche decina di Hz fino a qualche GHz (10^9 Hz).

Le vibrazioni sono fenomeni locali che non coinvolgono necessariamente il processo spaziale della propagazione di onde elastiche di competenza del-

l'acustica. Resta peraltro nel merito il problema fondamentale dell'isolamento meccanico che tratta degli accorgimenti e dei dispositivi da porre in atto per limitare la trasmissione di energia meccanica vibratoria tra sistemi materiali meccanicamente collegati e combinati tra loro. Per isolamento meccanico si intende la realizzazione di un dispositivo capace di attenuare gli effetti cinetici tra due corpi o sistemi l'uno dei quali è sede di perturbazioni dinamiche, considerando, nel caso specifico, che tale isolamento deve operare la salvaguardia fisica diretta dell'individuo.

Il corpo umano, in linea di prima approssimazione, può considerarsi come un sistema meccanico complesso a costanti concentrate. Sotto l'azione di forze periodiche di modesta ampiezza si può considerare che i vincoli elastici che collegano le varie parti ed organi del corpo umano si comportino in maniera lineare, seguendo cioè la nota legge di Hooke. Questi organi che sono interessati alle forze vibratorie provenienti dall'esterno e trasmesse all'intero corpo attraverso i vincoli di contatto e di appoggio, essendo dotati di una propria massa e di propri vincoli elastici, saranno soggetti a movimenti ben determinati. La trasmissione di ogni e qualsiasi oscillazione ad una determinata frequenza ad una parte o organo del corpo umano avente la stessa frequenza vibratoria del sistema induttore, dà luogo a pericolosissimi effetti di risonanza. In questo caso l'ampiezza di vibrazione dell'organo umano raggiunge un massimo con serie conseguenze ed anche lesioni della parte interessata. Ad esempio, per il complesso torace-addome sono state trovate frequenze di risonanza intorno a 5 Hz. Per la testa-collo-spalle le frequenze di risonanza sono tra 20 e 30 Hz, mentre per i lobi oculari i valori di risonanza oscillano tra 60 e 90 Hz. Per le sollecitazioni dinamiche di frequenza superiore ai 100 Hz la intera struttura del corpo umano risponde meglio al concetto di continuo - limitato, ed il sistema può assimilarsi ad un sistema a costanti distribuite. Tuttavia la reattività degli individui alla sopportazione delle vibrazioni per taluni aspetti è collegata alla ampiezza dello spostamento (vere e proprie oscillazioni, mal di mare e di aereo), per altri alla velocità di spostamento vibratorio e per altri ancora alla accelerazione dello spostamento vibratorio. In definitiva si può ammettere che, in relazione alla gamma delle frequenze ed alla intensità degli stimoli meccanici coinvolti nel processo, può essere significativo assumere di volta in volta come grandezza funzionale lo spostamento, la velocità o l'accelerazione della grandezza vibratoria.

In relazione a quanto esposto ne consegue che per la importanza del problema e per la tutela della integrità fisica del lavoratore esposto a possibili vibrazioni dirette od indotte, il primo obiettivo da raggiungere è quello di contenere i fenomeni vibratorii entro i più ristretti limiti di ampiezza, velocità ed accelerazione, ponendo in atto tutti quei sistemi tecnici e tecnologici sia alla sorgente che nel mezzo di propagazione.

Preciudendo da considerazioni meccaniche e costruttive che si riferiscono a questioni di progettazione, costruzione, equilibratura, ecc. delle parti dinamiche di un qualsiasi mezzo meccanico che può dare luogo a vibrazioni, rivestono particolare importanza i metodi di isolamento delle vibrazioni attuati generalmente in due casi tipici:

1) isolamento del generatore dalla sua fondazione in modo da ridurre le forze ad essa trasmesse;

2) isolamento dell'individuo dal terreno o dalla apparecchiatura vibrante, riducendo opportunamente sia l'entità delle oscillazioni che l'individuo verrebbe a subire, che la velocità e l'accelerazione vibratoria.

È anche assai importante smorzare le vibrazioni dissipandole in modo da non farle permanere nel mezzo di trasmissione al cessare della causa che le ha generate.

Per quanto si riferisce all'isolamento del sistema vibrante, semplificando la sua schematizzazione come massa m alla quale è applicata una forza sinusoidale di valore Q e pulsazione $\Omega = Q \sin \Omega t$, appoggiata al terreno mediante un sistema elastico di costante caratteristica K (rapporto $\frac{Fa}{\delta} = \frac{\text{forza applicata}}{\text{deform. prodotta}}$) ed un ammortizzatore capace di fornire una forza resistente proporzionale alla velocità della massa m con coefficiente di proporzionalità r , la massima forza trasmessa al terreno varierà con legge sinusoidale e sarà:

$$F_t = Q \frac{\sqrt{1 + \frac{\Omega^2 r^2}{m^2}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Omega^2}{\omega^2}\right)^2 + \frac{\Omega^2 r^2}{\omega^2 m^2 \omega^2}}} \quad (1)$$

dove $\omega = \sqrt{\frac{K}{m}}$ indica la pulsazione delle oscillazioni libere del sistema privo di smorzamento.

Il diagramma della Fig. 2 riporta in ascissa il rapporto tra $\Omega =$ pulsazione del sistema eccitatore e $\omega =$ pulsazione del sistema libero ed in ordinata il rapporto tra $F_t =$ valore della forza trasmessa e $Q =$ valore della forza del sistema eccitatore.

Si rileva che per $\frac{\Omega}{\omega} = 1$ il valore della forza trasmessa F_t diviene infinito.

Ciò avviene quando la frequenza del sistema eccitatore coincide con la frequenza del sistema eccitato (risonanza) con smorzamento $r = 0$ (cioè senza vincolo ammortizzante). Per valori di vincolo ammortizzante > 0 si hanno

le curve inferiori. Si osserva che il rapporto $\frac{F_t}{Q}$ è > 1 per pulsazioni della eccitatrice Ω compresi tra 0 e $\sqrt{2\omega}$.

Il valore $\frac{F_t}{Q}$ è < 1 all'esterno di tale intervallo e lo scostamento è tanto minore quanto maggiore è lo smorzamento. Si osserva come uno smorzamento notevole attenui molto le forze trasmesse in condizioni di risonanza.

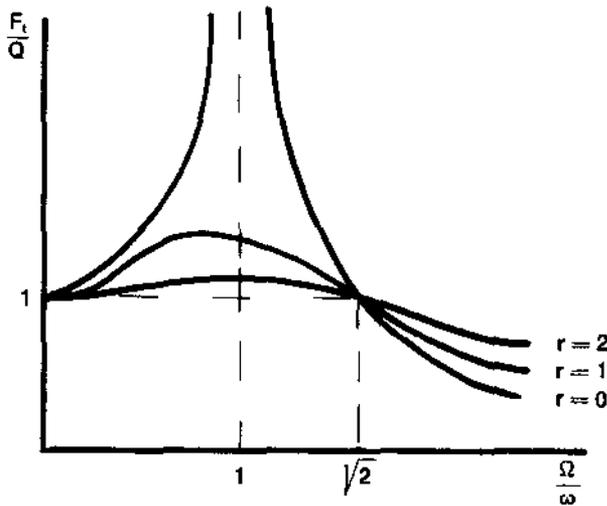


Fig. 2. — Effetto dello smorzamento per r maggiore di 0 in funzione delle grandezze $\frac{F_t}{Q}$ e $\frac{\Omega}{\omega}$.

È sempre opportuno inoltre che le frequenze eccitatrici siano notevolmente superiori alla frequenza propria del sistema libero, cioè che la massa m sia grande e la costante elastica K sia piccola (essendo $\omega = \sqrt{\frac{K}{m}}$). Occorre cioè che la massa sia rilevante e la molla soffice.

Nel caso dell'isolamento di un individuo di massa m_1 dalle vibrazioni di una struttura animata da un moto sinusoidale di ampiezza b e pulsazione Ω_1 , il movimento della massa m_1 sarà sinusoidale ed il suo valore sarà

$$X = b \frac{\sqrt{1 + \frac{\Omega_1^2}{\omega^2} \frac{r^2}{m_1^2 \omega_1^2}}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\Omega_1^2}{\omega_1^2}\right)^2 + \frac{\Omega_1^2 r^2}{\omega_1^2 m_1 \omega_1^2}}} \quad (2)$$

indicando con ω , la pulsazione dell'individuo, privo di smorzamento, soggetto al moto vibratorio di pulsazione Ω_1 , della struttura.

Questa relazione è formalmente identica alla (2) del caso precedente e pertanto, riportando nel diagramma della Fig.2 i rapporti $\frac{X}{b}$ tra l'ampiezza dello spostamento della massa dell'individuo e quello della struttura vibrante, si ottengono le stesse curve della figura precedente, avendo cura di sostituire al concetto di forza quello di spostamento (Fig. 3).

Si rileva che l'ampiezza della oscillazione dell'individuo sarà tanto minore per quanto il rapporto tra la pulsazione Ω_1 della struttura e della massa m_1 dell'individuo sarà maggiore del valore $\sqrt{2}$.

Poiché $\omega_1 = \sqrt{\frac{K}{m}}$, sarà ω_1 tanto più piccolo per quanto più piccolo sarà il valore di K e grande il valore di m_1 .

Sul valore di m_1 non è possibile influire perché si tratta della massa del lavoratore e pertanto dovrà ridursi il più possibile il valore di K , cioè una molla assai soffice.

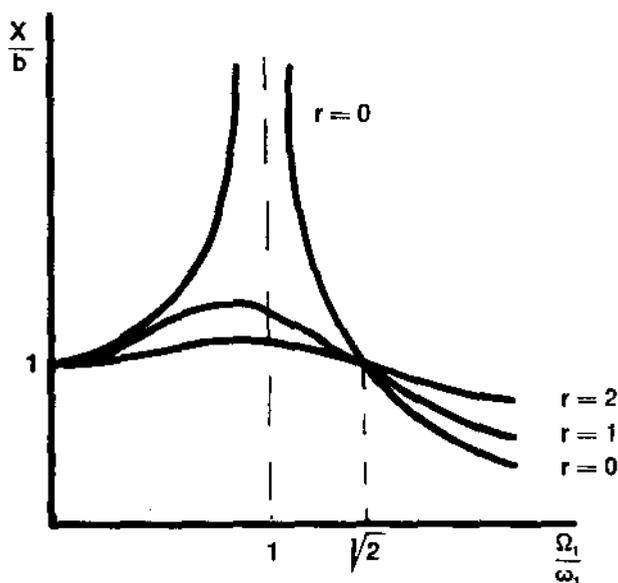


Fig. 3. — Effetto dello smorzamento per r maggiore di 0 in funzione delle grandezze $\frac{X}{b}$ e $\frac{\Omega_1}{\omega_1}$.

Nel caso che il sistema non abbia smorzamento, si osserva come lievi variazioni di $\frac{\Omega_1}{\omega_1}$ diano luogo a sensibili aumenti di X che invece risultano contenuti con l'adozione di sistemi smorzanti con $r > 0$.

I tipi di smorzatori generalmente adottati sono raggruppabili nelle seguenti categorie [4]:

a) smorzatori idraulici. Questi sono basati sul principio di fare trafilare un fluido viscoso attraverso un ugello calibrato sotto l'azione premente di uno stantuffo collegato al sistema di massa m . Tali smorzatori sono efficienti per lente oscillazioni;

b) smorzatori a frizione. Sono basati sul principio dello sfregamento tra due elementi in modo che la resistenza di attrito si opponga al loro movimento relativo. Sono adottati per smorzare gli urti, cioè le vibrazioni con bassa frequenza e notevole ampiezza;

c) smorzatori magnetici. Sfruttano il principio che facendo passare la corrente elettrica in un conduttore e muovendo questo in un campo magnetico, la forza frenante è proporzionale alla velocità di spostamento del conduttore elettrico nel campo magnetico. Trovano applicazione nello smorzamento delle vibrazioni aventi caratteristiche di elevata velocità ed accelerazione;

d) smorzatori ad isteresi. Sfruttano la isteresi elastica di alcuni materiali come gomma, sughero, feltro, ecc. e si prestano per l'isolamento da vibrazioni di piccola ampiezza ed elevata frequenza.

Un particolare interesse rivestono attualmente gli smorzatori di vibrazioni del tipo cosiddetto « a strato vincolato », smorzatori capaci di trasformare l'energia meccanica in calore mediante la deformazione di uno strato di materiale visco-elastico serrato tra la struttura vibrante e un sottile strato metallico vincolante.

La Fig. 4 mostra una sezione trasversale di una struttura a forma di vasca costituita da due strati rigidi in acciaio separati da un sottile strato



Fig. 4. — Sezione trasversale di una struttura a forma di vasca costituita da due strati rigidi in acciaio, separati da un sottile strato di materiale visco-elastico.

visco-elastico. Quando tutta la struttura vibra, l'energia meccanica viene convertita in calore nello strato di smorzamento. L'effetto di trasferimento della energia vibratoria attraverso le superfici dei due mezzi dipende dall'adattamento delle loro impedenze acustiche, definendo l'impedenza acustica come il prodotto δV ; dove δ è la densità del mezzo e V è la velocità con la quale si trasmette la vibrazione e la sua unità di misura è $g/cm^2 \times sec$.

L'acciaio ha una impedenza di $2,7 \times 10^8$; gli elastomeri 10×10^8 e l'aria 42. Di conseguenza il trasferimento di energia tra due solidi è assai più efficiente del trasferimento di energia tra un solido e l'aria (che dà luogo a rumore).

Gli esseri umani sono però anche sensibili alle vibrazioni. Infatti, il livello minimo di pressione che può essere percepito al tatto (per una data frequenza di vibrazione) è di circa 1 dyn/cm². Lo smorzamento delle vibrazioni con l'adozione di smorzatori a strato vincolato consiste nell'usare un sottile strato di materiale visco-elastico disposto su un supporto rigido ed applicato direttamente alla superficie della struttura vibrante principale. Quando la intera struttura vibra, lo strato smorzante morbido e viscoso è sottoposto ad una deformazione di taglio tra la struttura primaria ed il supporto rigido; in tal modo l'energia meccanica di vibrazione risulta abbondantemente trasformata in calore all'interno dello strato di smorzamento medesimo.

L'ampiezza della vibrazione alla risonanza dipende, per una data energia di ingresso dal «fattore di smorzamento» della struttura, definito genericamente come rapporto tra la energia meccanica dissipata in calore e l'energia meccanica immagazzinata.

$$f_s = \frac{E_d}{E_i}$$

La maggior parte dei materiali da costruzione hanno un basso fattore di smorzamento (per il ferro e l'acciaio $f_s < 0,01$), corrispondente ad una amplificazione alla risonanza di almeno 40 db, ossia alla risonanza 100 volte maggiore della vibrazione forzante. Per attenuare quindi le vibrazioni eccessive con uno smorzamento esterno è necessario ricorrere a materiali con fortissima capacità di dissipare energia.

Le analisi teoriche compiute da Kerwin sulla meccanica delle vibrazioni delle strutture composte hanno posto in evidenza che l'efficienza dei sistemi smorzanti di tipo elastomeri visco-elastici dipende anche dal grado di accoppiamento degli strati in modo da regolare la loro capacità a rispondere all'unisono alla vibrazione. Tali analisi sono state confermate dalle esperienze effettuate su una piastra di acciaio, la cui vibrazione può essere ridotta di 30 volte con l'applicazione di uno strato visco-elastico e di uno strato vincolante.

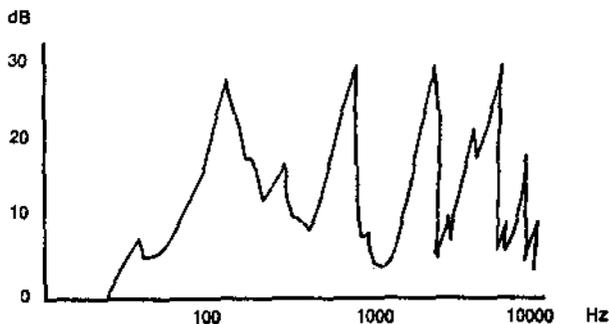


Fig. 5. — Spettro di frequenza alla risonanza di una trave libera.

I diagrammi riportati nelle Fig. 5, 6 e 7 mostrano gli spettri di frequenza alla risonanza in tre diverse condizioni di prova di una trave a sbalzo, in acciaio inossidabile a sezione quadrata. Nel diagramma di Fig. 5 la trave è libera e si notano le numerose frequenze di risonanza. Nel diagramma di Fig. 6 la trave è stata ricoperta su una faccia da un materiale visco-elastico incollato ed è ben visibile l'attenuazione dei livelli di vibrazione alle frequenze di risonanza.

L'applicazione di uno strato vincolante costituito da un lamierino di alluminio, Fig. 7, incollato allo strato visco-elastico, ha decisamente contribuito a ridurre ad un livello di minimo valore il primo picco di risonanza, mentre si nota la pressoché totale scomparsa degli altri picchi di risonanza e la riduzione di tre picchi di risonanza a valori trascurabili.

Il diagramma qualitativo riguardante la classificazione dei problemi nel campo del controllo delle vibrazioni e del rumore è quello riportato nello Schema 1 che rende possibile valutare i casi in cui lo smorzamento a strato vincolato risulta efficace.

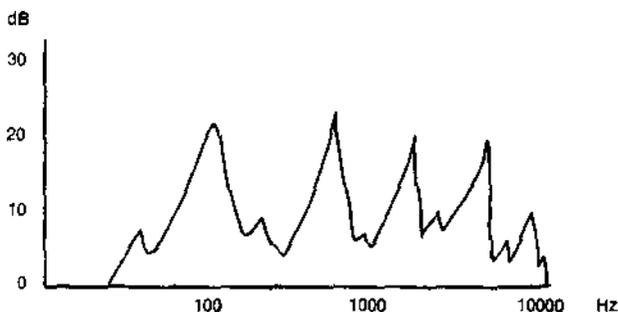


Fig. 6. — Spettro di frequenza alla risonanza della trave di Fig. 5, ricoperta su una faccia con un sottile strato di materiale visco-elastico.

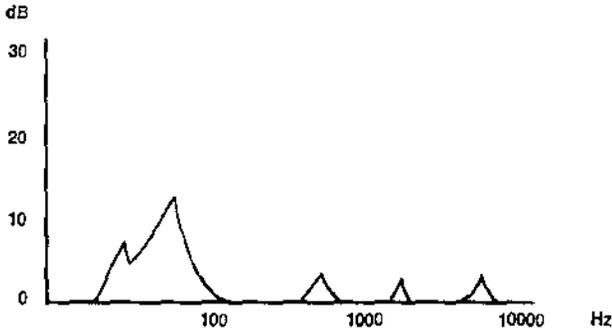
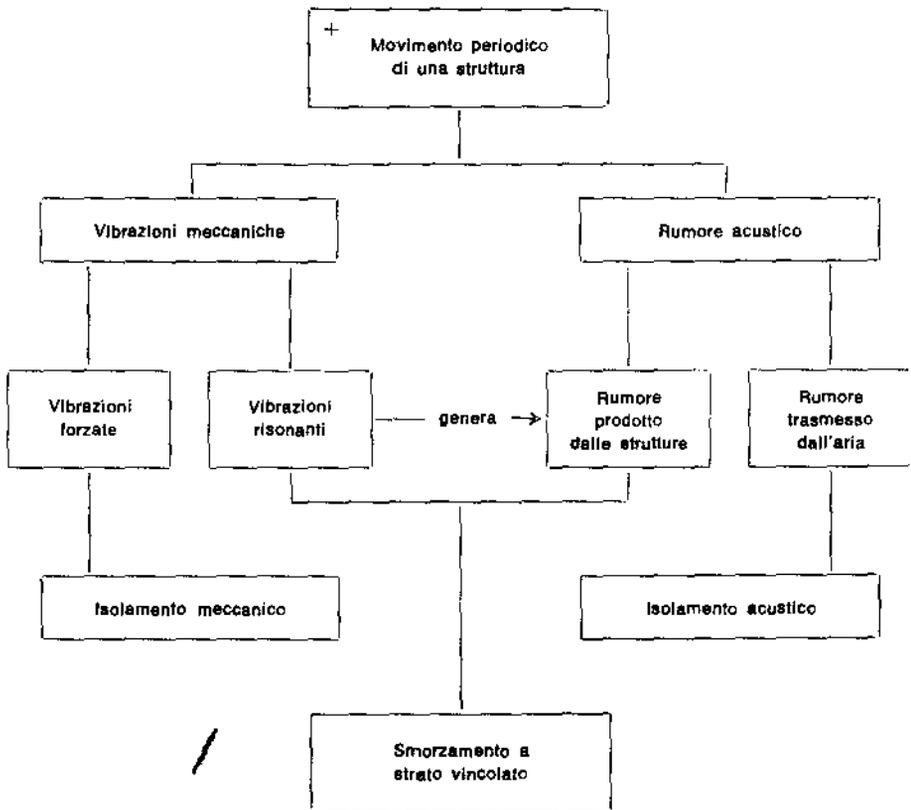


Fig. 7. - Spettro di frequenza alla risonanza della trave di Fig. 6 ulteriormente ricoperta sullo strato visco-elastico con un sottile lamierino di alluminio.

SCHEMA I

Diagramma di classificazione per il controllo delle vibrazioni e dei rumori



Se si tratta di una struttura in movimento periodico che dà luogo a vibrazioni meccaniche indotte in una massa ad essa applicata e dà luogo anche a rumore, al fine di attenuare le vibrazioni forzate, un sistema di controllo efficace è l'isolamento meccanico secondo la relazione (2). Per il rumore trasmesso attraverso l'aria un controllo efficace consiste nel porre in atto adatti assorbenti acustici. Nel caso che le vibrazioni meccaniche indotte diano luogo a vibrazioni risonanti, un controllo efficace è rappresentato dallo smorzamento a strato vincolato.

Si può concludere, dopo quanto succintamente esposto, che lo smorzamento a strato vincolato contribuisce alla risoluzione del problema della dissipazione dell'energia vibratoria, annullando ed attenuando assai efficacemente le frequenze di risonanza, con sistemi tecnici aventi caratteristiche di compattezza e leggerezza, oltre a semplicità di manutenzione.

Aggiungendo la tecnica dello smorzamento a strato vincolato ai vecchi sistemi di isolamento e di assorbimento si può controllare con maggiore efficacia il propagarsi delle vibrazioni dalle strutture all'uomo, diminuendo in maniera notevole la generazione e la trasmissione di una gran parte di vibrazioni e rumori irritanti e distruttivi.

Riassunto. — Sono descritti i principi di propagazione delle vibrazioni delle macchine operatrici agli addetti al loro funzionamento ed i danni ai quali questi possono essere soggetti, con i mezzi di attenuazione. Si prende in particolare considerazione il sistema di smorzamento delle vibrazioni « a strato vincolato », illustrandone le caratteristiche ed i vantaggi.

Summary (*The vibration and noise control in working areas by a restrained layer damping system*). — Propagation principles of vibrations from machines and possible damages to operators are described. The author points out how to limit and avoid any possible harm. The restrained layer damping system is taken into account, its advantages and peculiarities are examined in particular.

BIBLIOGRAFIA

1. YIN, T. P. 1969. Il controllo delle vibrazioni e dei rumori. *Le Scienze*, **10**: 26-104.
2. KING A. J. 1973. *The measurement and suppression of noise*. John Wiley & Sons Inc. London.
3. MORRESI, N., G. PESTOLOZZA & C. Cia. 1971. Il rumore, aspetti tecnici, effetti biologici *Riv. Audiol. Prat.*
4. BERANEK, L. 1970. *Noise reduction*. Mc-Graw-Hill Book Company Inc., New York.

Interventi per la diminuzione della rumorosità ambientale nell'industria meccanica

A. CASTAGNOLI (a) e R. ONESTA (b)

con la collaborazione tecnica di F. MOSCATELLI (b) e G. VENDRAMIN (a)

(a) *Istituto di Medicina del Lavoro, Università Cattolica del S. Cuore, Roma*

(b) *Nuovo Pignone S. p. A., Firenze*

Il rumore nell'industria meccanica è uno dei problemi più rilevanti da un punto di vista igienico-ambientale ed è presente con livelli di rischio più o meno elevati in tutte le lavorazioni di caldareria, di fonderia e di meccanica vera e propria.

Tranne in alcuni casi, il rumore è di tipo non stazionario, in quanto il livello di pressione sonora presenta spesso oscillazioni notevoli. Questo carattere del rumore deriva dalle caratteristiche di discontinuità e di intermittenza delle diverse lavorazioni. Spesso, quindi, in una generica posizione di lavoro, la rumorosità dipende da più lavorazioni discontinue. Nelle Tab. 1, 2 e 3 viene mostrato un quadro riassuntivo dei valori del livello sonoro continuo equivalente in dB (A), relativi alle lavorazioni più significative dei tre settori che possono interessare uno stabilimento metalmeccanico. È da rilevare che i valori riportati si riferiscono alla rumorosità prodotta dalle singole lavorazioni e che, nelle suddette valutazioni, non entrano in gioco le pause e le sospensioni connesse ad un ciclo di lavoro che, nell'arco della giornata lavorativa, spesso si presenta frammentario, in considerazione del tipo di lavoro preso in esame.

Da questo quadro, che ci permette di evidenziare le lavorazioni più rumorose, deriva che maggiormente rischiose sono le lavorazioni di caldareria e di fonderia, dove si raggiungono valori di livello sonoro continuo equivalente di 102-106 dB (A), con valori istantanei superiori, in taluni casi, ai 110-115 dB (A). D'altra parte le fluttuazioni dei livelli sonori riportati nella tabella dipendono dal fatto che vengono lavorati materiali di forma e natura diversa.

L'esperienza di igiene industriale da noi riportata riguarda l'industria meccanica della « Nuovo Pignone », la cui lavorazione viene effettuata in sette stabilimenti, di cui 4 prevalentemente di meccanica e 3 di carpenteria.

Uno dei sette stabilimenti è dotato anche di un reparto di fonderia, in fase di riorganizzazione tecnico-produttiva.

In questi stabilimenti si è proceduto a misure di rumorosità con un misuratore di livello sonoro di tipo impulsivo e con un registratore grafico di livello, per effettuare registrazioni dell'andamento del livello di pressione sonora in dB (A), onde calcolare il livello sonoro continuo equivalente relativo alle singole lavorazioni.

TABELLA 1

Livelli sonori continui equivalenti in dB(A) per $q = 5$ dB riscontrati in alcune lavorazioni di meccanica

POSIZIONE DELLA MISURA	Livello sonoro continuo equivalente in dB(A) per $q = 5$ dB
<i>Affileria.</i> Vicino agli addetti a diverse lavorazioni di affilatura utensili	83-88
<i>Fresa verticale.</i> Vicino all'addetto ad una fresa verticale Zorsi	80
<i>Fresa leva Morini.</i> Vicino all'addetto, durante la lavorazione su profilato DAZ 108: - col nuovo sistema di fissaggio a ganaschia - senza sistema di fissaggio	98 106
<i>Foratrice multipla.</i> Vicino all'addetto alla foratrice multipla	83
<i>Alettatrici.</i> Vicino agli addetti alle alettatrici Mac Elroy con lavorazione su acciaio inox ed al carbonio	84-88
<i>Macchine a controllo numerico.</i> Vicino all'addetto ad una Cincinnati con lavorazione sul coperchio della scatola del cambio	82
<i>Tornio.</i> Vicino all'addetto ad un tornio, durante il taglio anello sgrassato	91
<i>Pressa.</i> Vicino all'addetto alla pressa Kieserling	87
<i>Verniciatura.</i> Vicino all'addetto alla verniciatura grezzi	78
<i>Sala prova telai.</i> Vicino all'addetto al controllo telai (condizioni medie di lavorazione)	95
<i>Sala prova turbine.</i> Vicino all'addetto, durante il giro di controllo alla turbina Fr. 3	103-106

TABELLA 2

**Livelli sonori continui equivalenti in dB(A) per $q = 5$ dB riscontrati
in alcune lavorazioni di caldareria**

POSIZIONE DELLA MISURA	Livello sonoro continuo equivalente in dB(A) per $q = 5$ dB
<i>Molatura.</i>	
Vicino a diversi addetti a lavorazioni di molatura su pezzi di natura e forma diversa	102-106
Vicino all'addetto alla molatura interna di uno scambiatore	108
<i>Scalpellatura.</i>	
Vicino a diversi addetti a lavorazioni di scalpellatura su pezzi di natura e forma diversa	105-106
<i>Battitura.</i>	
Vicino all'addetto ad una lavorazione di raddrizzatura con mazza	97
Vicino agli addetti a lavorazioni di battitura con martello	93-97
<i>Taglio.</i>	
Vicino all'addetto alla taglierina su lamiera da 2 mm	88
<i>Storciatura.</i>	
Vicino all'addetto alla storciatura su mantello di 18 mm di acciaio inox	103
<i>Saldatura.</i>	
Vicino a diversi addetti a lavorazioni di saldatura	80-85

TABELLA 3

**Livelli sonori continui equivalenti in dB (A) per $q = 5$ dB riscontrati
in alcune lavorazioni di fonderia**

POSIZIONE DELLA MISURA	Livello sonoro continuo equivalente in dB(A) per $q = 5$ dB
<i>Formatura terra.</i>	
Vicino a diversi addetti alla formatura terra durante lo scarico e la battitura con pestello pneumatico	93-101
<i>Distaffatura.</i>	
Vicino agli addetti alla distaffatrice durante tutte le fasi di lavorazione	104-106
<i>Sbavatura.</i>	
Vicino agli addetti alla molatura su una pompa e su un cilindro per compressore	102
Vicino all'addetto alla scalpellatura su un cilindro per compressore	102
<i>Sabbatura.</i>	
Vicino all'addetto alla sabbatura getti a macchina	92

Sulla base delle rilevazioni effettuate e riferite nelle tabelle precedenti, la « Nuovo Pignone » ha impostato un programma tendente a ridurre, nel limite del possibile, la rumorosità ambientale; ciò costituisce, essenzialmente, l'oggetto della presente relazione.

Nell'industria meccanica, purtroppo, la maggior parte degli operatori si trova a diretto contatto con la macchina rumorosa e quindi nel campo diretto della sorgente. In questo caso l'unica alternativa, se non si può intervenire direttamente sulla macchina, o, spesso, con minore efficacia sull'ambiente, è quella di ricorrere ai mezzi protettivi individuali. La difficoltà di intervenire direttamente sulla sorgente di rumore è ben nota: difficoltà tecniche spesso limitano le possibilità di iniziativa nei confronti delle macchine esistenti; migliori prospettive esistono, invece, nei confronti delle macchine di nuova progettazione. Pertanto, attualmente, presso la « Nuovo Pignone », vengono fissati, mediante specifiche, i limiti di rumorosità cui debbono soddisfare le macchine o gli impianti da acquistare.

In alcuni casi si è riusciti a ridurre direttamente l'entità del rumore alla fonte, attraverso la sostituzione delle attrezzature o delle macchine impiegate. Ad es., in fonderia, con un nuovo tipo di pestello pneumatico per la battitura della terra è stata ottenuta una riduzione del livello di pressione sonora compresa tra i 4 e i 7 dB (A), rispetto ai vecchi tipi di pestello usati, mentre in un reparto misuratori gas, con una avvitatrice automatica di nuovo tipo per il fissaggio delle viti di serraggio cassa-coperchio del misuratore, è stato ottenuto un livello di pressione sonora di 80 dB (A), con un miglioramento cioè di 18-20 dB (A), durante il fissaggio, rispetto ai cacciavite pneumatici precedentemente impiegati.

Per quanto riguarda l'operazione di molatura all'interno di virole, è stata installata una molatrice automatica a nastro con braccio retrattile che consente all'operatore di restare all'esterno della virola; in questa posizione il livello di pressione sonora, durante la lavorazione, è risultato pari a 85 dB (A).

Un altro esempio di intervento per ridurre il rumore alla sorgente è offerto dalla progettazione e dalla realizzazione di un sistema automatico di fissaggio con ganasce in elastomero, in corrispondenza di frese impiegate nella lavorazione di profili di alluminio (come mostrato nella Fig. 1), tali da bloccare saldamente i profilati cavi di alluminio, riducendone la vibrazione e, di conseguenza, abbattendo il livello sonoro di circa 8-10 dB (A) in corrispondenza dell'addetto.

In altre circostanze, si è cercato di intervenire sia attraverso la progettazione, ad es. mediante l'impiego di lamiere grecate in sostituzione di lamiere piane che all'atto della saldatura, su ampie superfici, tendono a deformarsi, sia attraverso il ciclo di lavoro, attuando ad es. metodi di saldatura che non richiedono scalpellature o molature di ripresa.



Fig. 1. — Sistema automatico di fissaggio con ganasce in elastomero di profili di alluminio.

Oltre a questi casi di riduzione, ottenuta sostituendo o modificando la macchina, si è proceduto anche all'isolamento della sorgente rumorosa in locali separati oppure mediante cuffie e cabine dotate eventualmente di aperture con vetri dotati di buone caratteristiche fonoisolanti, onde permettere il controllo dall'esterno della lavorazione in atto: ad es. in corrispondenza dei banchi prova delle valvole tarate per oleodotti, portando all'esterno l'addetto al controllo, è stato ottenuto un abbattimento di circa 35-40 dB (A), all'atto dell'apertura della valvola. Le cabine dei banchi prova, realizzate in pareti di calcestruzzo alleggerito con argilla espansa dello spessore di 36 cm, sono munite, solo sul lato esterno al capannone, di porte scorrevoli *sandwich* con lana minerale e con guarnizioni perimetrali in gomma per la tenuta. Analogamente, in corrispondenza dell'addetto ad una pressa automatica da 25 tonn, è stato ottenuto un abbattimento di circa 10 dB (A), mediante una cabina insonorizzata che viene mostrata nella Fig. 2.

Sempre allo stesso fine, in alcuni stabilimenti i compressori-aria sono stati trasferiti in locali, opportunamente insonorizzati, costruiti all'esterno, mentre altri, pur restando al centro del capannone, sono stati rinchiusi in locali in muratura, rivestiti in materiali fonoisolanti-fonoassorbenti: è stata così ottenuta una differenza di livello sonoro di circa 30 dB (A), tra l'interno e l'esterno.

L'isolamento ottenuto è notevole anche se ha comportato all'interno del locale compressori un aumento di circa 6 dB (A); d'altra parte solo il

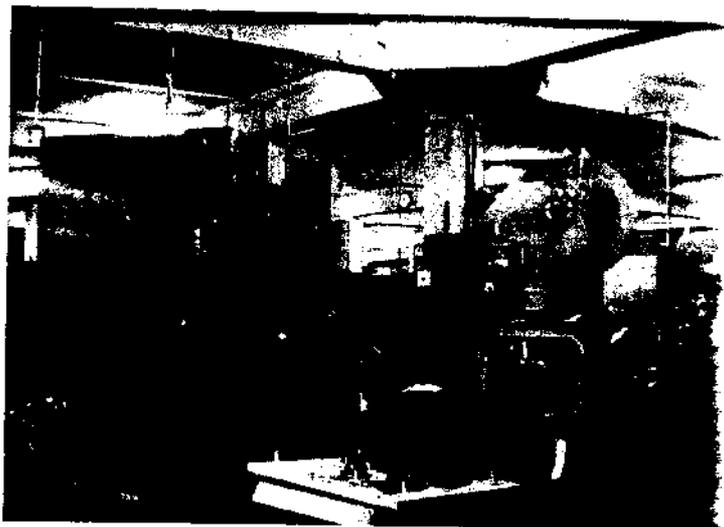


Fig. 2. — Cabina insonorizzata che racchiude una pressa automatica da 25 tonn.

personale addetto alla loro manutenzione è esposto saltuariamente e per tempi brevi al rumore proveniente da questa sorgente.

Come si è visto dalle tabelle precedenti, le lavorazioni di molatura e di scalpellatura sono tra le più rischiose per l'udito. Dal momento che per gli addetti a tali lavorazioni l'unica possibilità di intervento è quella di ricorrere, come si è già detto, all'uso del mezzo protettivo individuale, si è cercato in diversi modi nei vari stabilimenti di impedire la propagazione del rumore ai posti di lavoro adiacenti.

In uno stabilimento si è cercato di far avvenire le operazioni di molatura e scalpellatura all'interno di una cabina fonoassorbente-fonoisolante. Da un punto di vista acustico si è ottenuto un notevole miglioramento. L'abbattimento ottenuto durante la scalpellatura su un tubo di alluminio è risultato pari a 34 dB (A). Tuttavia questa iniziativa per ora è stata accantonata in attesa di risolvere i problemi connessi di polverosità, ventilazione e illuminazione. Si è ricorsi, pertanto, come in altri stabilimenti, all'uso di una serie di pannelli mobili fonoassorbenti da disporre intorno all'addetto alla lavorazione di molatura e di scalpellatura, in modo da circondare completamente il posto di lavoro e realizzare così uno schermo sonoro per limitare la propagazione del rumore. All'esterno di tale schermo l'attenuazione risulta tanto maggiore quanto più i pannelli mobili sono vicini all'addetto alla lavorazione. I pannelli, alti 2,5 m, sono realizzati in lana minerale resinata, con una barriera interna di cartongesso bitumato, per uno spessore



Fig. 3. — Box di sbavatura rivestiti con materiali fonoassorbenti.

complessivo di 10 cm. In questa maniera all'esterno, quasi a ridosso della schermatura, si ottengono riduzioni di rumorosità di 10–11 dB (A). Il miglioramento diminuisce, però, all'aumentare della distanza dai pannelli, riducendosi a circa 5 dB (A) a 4 m dai pannelli ed a 3 dB (A) a 15 m di distanza, in conseguenza della propagazione dell'onda sonora al di sopra dei pannelli stessi; ovviamente, questo fenomeno può essere ridotto aumentando l'altezza dei pannelli. In casi particolari, poi, si è proceduto al rivestimento del soffitto e delle pareti dei capannoni con materiale di buone caratteristiche fonoassorbenti, in modo da ridurre la propagazione del rumore per riflessione.

In fonderia inoltre sono stati costruiti due box sperimentali per la sbavatura (Fig. 3) rivestiti con materiale fonoassorbente, in considerazione del fatto che questa operazione risulta particolarmente rumorosa; rispetto all'attuale tipo di box, a circa 5 m di distanza dal box, in posizione centrale, si è ottenuto, un miglioramento di 5 dB (A). Inoltre nella cabina adiacente al box di sbavatura sperimentale, la differenza di pressione sonora tra l'interno del box sperimentale, nel quale veniva effettuata la sbavatura, ed il box adiacente è risultata pari a 15–16 dB (A).

In altri stabilimenti, per le macchine più rumorose, sono stati costruiti schermi e cuffie in materiale fonoassorbente della stessa natura dei pannelli mobili prima citati. Ad es., in corrispondenza di una pressa ad eccentrico (Fig. 4) comandata a pulsante è stata costruita una cuffia su tre lati e copertura, onde ridurre la rumorosità nell'ambiente circostante. In questo



Fig. 4. — Cuffia in materiale fonoassorbente di una pressa ad eccentrico.

caso, impiegando la cuffia, sono stati ottenuti i seguenti miglioramenti, a 5 m di distanza dalla pressa:

- a) circa 10 dB (A), dietro la schermatura;
- b) circa 6 dB (A), ai due lati dello schermo;
- c) circa 4 dB (A), frontalmente, leggermente spostati di lato;
- d) trascurabili frontalmente, in posizione centrale rispetto alla cuffia.

In corrispondenza di altre macchine, ad es. frese per la lavorazione di profilati cavi di alluminio, sono state costruite delle cuffie dello stesso tipo, (Fig. 5), racchiudendo inoltre il posto di lavoro con uno schermo costituito da pannelli mobili fonoassorbenti e rivestendo la parete del capannone con lana minerale a lunga fibra posta dietro una schermatura superficiale in PVC rigido forata. In questo modo, nei posti di lavoro prospicienti, a circa 20 m di distanza, è stato ottenuto un miglioramento di 6 dB (A).

Un miglioramento notevole nell'ambiente è stato ottenuto in corrispondenza di una macchina rifilatrice, munita di aspirazione per l'espulsione della polvere, che è stata schermata completamente in modo da lasciare due aperture per l'ingresso e l'uscita del materiale, come risulta dalla Fig. 6. Tra l'interno e l'esterno del tunnel così realizzato è stato ottenuto un abbattimento di circa 30 dB (A), mentre nell'ambiente circostante il miglioramento è risultato pari a 23 dB (A) a 3-4 m dal tunnel, ed a 13 dB (A) a 20 m di distanza.



Fig. 5. --- Cuffia in materiale fonoassorbente di tre frese e schermo di pannelli mobili fonoassorbenti.

Tuttavia l'intervento più significativo sul piano tecnico è stato realizzato in corrispondenza dei banchi prova turbine a gas, di cui nelle Fig. 7, 8 e 9 si illustrano rispettivamente la pianta, il banco prova prima della realizzazione della cabina insonorizzata a pareti mobili, ed infine, la disposizione attuale.



Fig. 6. --- Cuffia in materiale fonoassorbente di una macchina rifilatrice.

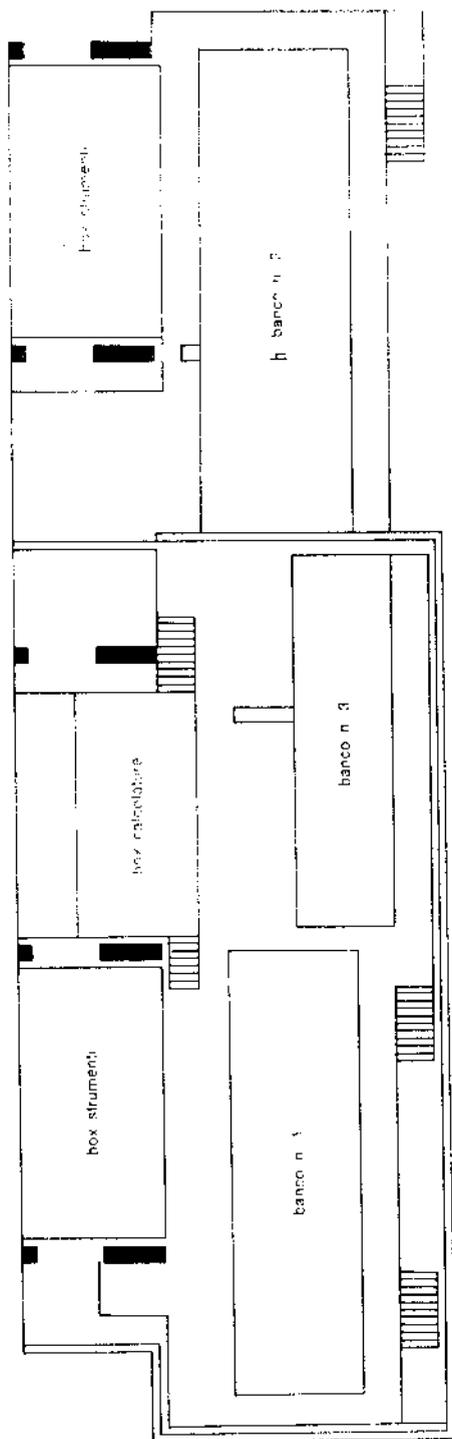


Fig. 7. — Pianta dei banchi prova turbine a gas.



Fig. 8. — Banchi prova turbine a gas prima dell'intervento.

La cabina insonorizzata, le cui pareti si sviluppano per un'altezza di 9 m dal pavimento del capannone, come si rileva dalla Fig. 9, ha comportato i seguenti interventi:

a) rivestimento con pannelli fonoassorbenti del muro già esistente nella parte posteriore del banco prova;



Fig. 9. — Cabina insonorizzata a pareti mobili dei banchi prova turbine a gas.

b) sistemazione della parte posteriore della copertura della cabina ad una struttura fissa per una profondità di 5,5 m ed un fronte di 44 m; la parte anteriore della copertura (per una profondità di 6,5 m ed un fronte di 24 m) veniva invece collegata alle pareti anteriori mobili, che hanno uno sviluppo tale da coprire contemporaneamente i banchi prova 1 e 3; l'insieme parte anteriore della copertura-pareti anteriori mobili può scorrere mediante motori elettrici su rotaie fissate al pavimento ed alla struttura della parete posteriore fissa della copertura;

c) sistemazione dei condotti di scarico dei gas esausti di combustione;

d) realizzazione di un impianto di ventilazione forzata all'interno dei banchi prova, attraverso griglie poste sui relativi pavimenti, tale da consentire l'espulsione di 400.000 Kal/h su ciascuno dei due banchi, e di 260.000 Kal/h nel banco intermedio, con una temperatura media interna al banco prova non superiore di 10 °C rispetto a quella media esterna.

La cabina insonorizzata prevede 4 pareti perpendicolari al banco prova di cui 2 esterne e 2 di separazione interna; la parte anteriore delle 2 pareti di separazione interna è sfilabile dalla struttura di sostegno onde consentire il collaudo in coppia di due macchine poste su banchi prova adiacenti; inoltre sia le pareti anteriori mobili che quelle di separazione interna sono provviste di porte.

L'insonorizzazione del banco prova turbine a gas è stata realizzata mediante pannelli fonoassorbenti, muniti di un telaio perimetrale di sostegno in lamiera di acciaio zincato, dello spessore di 2 mm. I pannelli, sul lato contrapposto alla sorgente di rumore, presentano una superficie in lamiera forata di acciaio zincato dello spessore di 2 mm, con fori di \varnothing 3,5 mm e con una superficie forata del 31 %, cui segue un *mat* di vetro o un film di plastica dello spessore di 1/100 mm, mentre, sull'altro lato, i pannelli presentano una superficie in lamiera di acciaio zincato dello spessore di 2 mm; queste lamiere non forate, inoltre, presentano, sul lato interno al pannello, striscie di lamiera zincata da 1 mm di spessore, incollate alle lamiere superficiali esterne con vernice antirombo. La cavità interna dei pannelli *sandwich* è occupata da lana minerale di densità 38 kg/m³. Le pareti divisorie presentano, invece, su ambedue le superfici, una lamiera forata in acciaio zincato.

Nella Fig. 10 viene precisata l'entità dell'attenuazione in dB per ciascuna banda di ottava tra l'esterno e l'interno: da un valore di 105 dB (A) sui banchi prova si passa ad un valore di 76 dB (A) all'esterno della cabina insonorizzata che li contiene. Contemporaneamente, all'interno della cabina insonorizzata, sono state realizzate tre cabine parimenti insonorizzate per il personale addetto al controllo della turbina: un box di riposo per gli operai, un box alimentazione motori con quadri elettrici ed un box con

SALA PROVA TURBINA

$$\Delta L = L_i - L_e$$

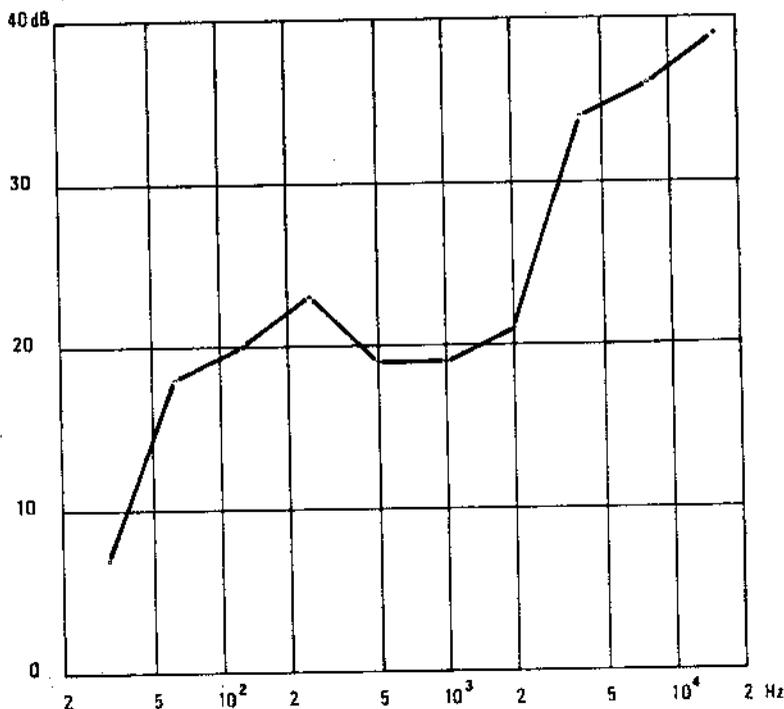


Fig. 10. — Differenza tra il livello di pressione sonora riscontrato all'interno e all'esterno della cabina insonorizzata dei banchi prova turbine per ciascuna banda d'ottava.

un calcolatore per la registrazione dei dati ed il controllo operativo (Fig. 11 e 12).

Le attenuazioni ottenute nel box strumenti del banco 2 sono riportate nella Fig. 13 per ciascuna banda di ottava. In questa maniera si è realizzato per il personale un mezzo di protezione efficace, in quanto il livello di pressione sonora si è ridotto da 108 dB (A) all'esterno della cabina controllo, a 77 dB (A), all'interno della stessa cabina. Il materiale usato per rivestire le pareti ed il soffitto della sala prova turbine a gas presenta inoltre il vantaggio di aver incrementato in maniera trascurabile il rumore all'interno della sala prova.

Attualmente, infine, è in corso l'allestimento di un settore adiacente dello stesso stabilimento per ricavarne una cabina insonorizzata di notevoli dimensioni, destinata al collaudo di turbine a gas di potenza ancora maggiore.

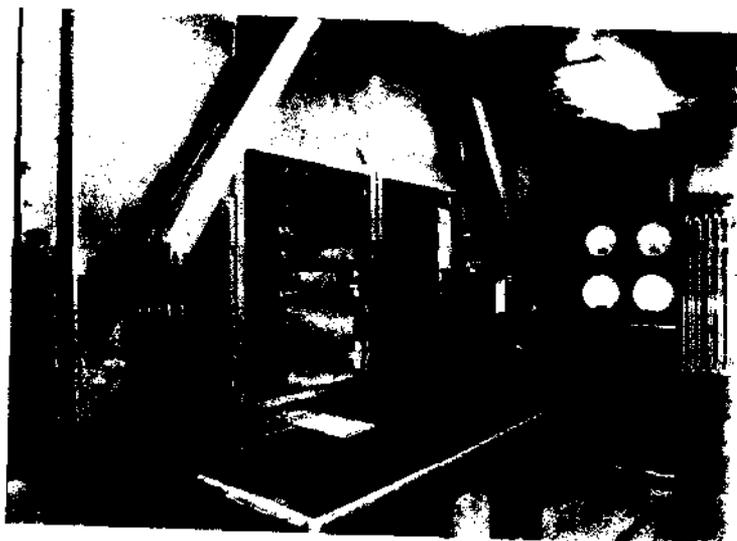


Fig. 11. — Box di riposo per gli addetti al banco prova turbine.

In conclusione, abbiamo voluto offrire una breve panoramica degli sforzi compiuti presso la «Nuovo Pignone» nell'affrontare il problema della rumorosità, con la consapevolezza delle esigenze di ordine fisico e psichico degli operatori e, purtroppo, anche delle difficoltà materiali inerenti al tipo di attività produttiva che questa azienda svolge.



Fig. 12. — Box con un calcolatore per la registrazione dei dati ed il controllo operativo.

Bonifiche da agenti chimici nell'industria meccanica

G. CARELLI (a), G. CECCHETTI (a), R. ONESTA (b) e V. RIMATORI (a)

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

(b) Nuovo Pignone S. p. a., Firenze

I rischi da agenti chimici che, apparentemente, nell'industria meccanica potrebbero sembrare poco rilevanti, sono viceversa numerosi e tra loro estremamente diversificati.

Nella Tab. 1 [1] sono evidenziati gli inquinanti chimici che possono interessare uno stabilimento metalmeccanico. Il risanamento igienico da questi inquinanti risulta particolarmente impegnativo, dovendosi intervenire sulle singole fonti di emissione, che, spesso, sono numerose e tali da influenzarsi reciprocamente.

TABELLA 1

Gli inquinanti chimici nell'industria meccanica

REPARTO	INQUINANTI CHIMICI
Fonderia	<ul style="list-style-type: none"> a) Prodotti di termodegradazione delle forme e anime (addensanti); b) inquinanti provocati dall'impiego di correttivi, leganti, sgrassanti, leghe di fonderia.
Meccanica	<ul style="list-style-type: none"> a) Aerosoli di oli lubrificanti ed emulsionabili; b) sgrassanti; c) liquidi penetranti e rilevatori; d) inquinanti da decapaggio.
Carpenteria	<ul style="list-style-type: none"> a) Tossici presenti nella polvere di molatura; b) fumi di saldatura; c) sgrassanti; d) liquidi penetranti e rilevatori; e) solventi e diluenti delle vernici; f) prodotti di termodegradazione dei solventi clorurati; g) inquinanti da decapaggio.

CABINA ADDETTI
CONTROLLO TURBINA

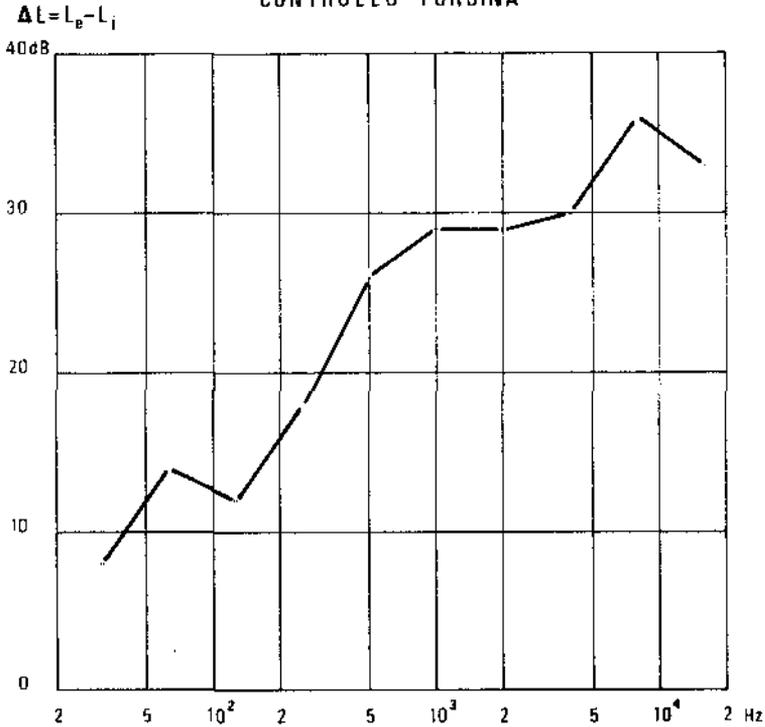


Fig. 13. — Differenza tra il livello di pressione sonora riscontrato nella sala prova turbine e all'interno del box strumenti del banco 2.

Riassunto. — È riportato il modo in cui è stato affrontato il problema della rumorosità presso la « Nuovo Pignone ».

Sono elencati i numerosi miglioramenti apportati e le conseguenti diminuzioni del livello di pressione sonora ottenute sia in corrispondenza degli addetti sia nell'ambiente circostante gli stabilimenti di meccanica, di fonderia e di caldareria. Particolarmente significativo sul piano tecnico è l'intervento effettuato in corrispondenza dei banchi prova turbine a gas.

Summary (Noise reduction in workshop environment). — The present report describes how the problem of noise at the « Nuovo Pignone » has been solved.

The many improvements carried out and the consequent reduction of sound pressure levels on the workers as well as on the environment surrounding workshops, foundries and tank construction, are described.

The technical importance of the control of noise at the gas turbine testing units is also stressed.

Scopo di questa nota è quella di illustrare alcuni interventi di bonifica eseguiti negli stabilimenti della « Nuovo Pignone », in corrispondenza di lavorazioni o macchine di più generale impiego (saldatura, molatura) come pure quelli relativi a lavorazioni meno diffuse (verniciatura, sgrassaggio, trattamenti termici) o specifiche (produzione di manufatti in poliestere rinforzato con fibre di vetro, produzione e relativa taratura di distributori di carburante), tralasciando volutamente il settore fonderia, poiché è in corso la sua riorganizzazione tecnica produttiva.

Per quanto riguarda le saldature il discorso è molto ampio, dato che i tipi di saldatura che possono essere impiegati sono numerosi.

Il tipo di saldatura più usato è, comunque, quello ad arco manuale, che come il taglio ossiacetilenico, provoca la formazione di CO, di ossidi di azoto e di gas e fumi derivanti anche dal rivestimento degli elettrodi, ad es. fluoruri, manganese, nichel, piombo, rame, cromo, zinco, ecc.

Molto diffusa è anche la saldatura con protezione di gas inerti (argon, anidride carbonica); questo tipo di saldatura, che raggiunge temperature nettamente superiori a quelle della saldatura ad arco, sviluppa raggi ultravioletti e, di conseguenza, ozono anche in misura maggiore.

Un discorso a parte merita il taglio al plasma, che oltre a provocare un rumore molto intenso, genera radiazioni ultraviolette, con formazione di ozono e di gas nitrosi, in misura anche maggiore rispetto agli altri sistemi di taglio.

Inoltre in carpenteria a questi agenti tossici si aggiungono le polveri derivanti dalle operazioni di molatura.

Presso i reparti di carpenteria e di caldareria della « Nuovo Pignone » circa l'80 % dei saldatori è impiegato nella saldatura ad arco manuale; contemporaneamente esistono postazioni di lavoro interessate da saldatura a gas schermante (MIG, TIG, a filo continuo animato e no), ad arco sommerso sotto flusso, da saldatura a punti, da taglio al plasma con idrogeno ed argon, da taglio ossiacetilenico, da scricatura con procedimento ARCAIR.

Per l'asportazione dei fumi di saldatura dai posti di lavoro si è provveduto attraverso la dotazione di tutte le zone, interessate alla saldatura, di gruppi di aspirazione fumi, di tipo differente, ma rispondenti allo stesso schema (Fig. 1).

Dai ventilatori si dipartono delle tubazioni orizzontali dorsali, che si sviluppano all'altezza di 5-6 m dal pavimento e che, mediante calate verticali, terminando con derivazioni a 2 o 3 prese, consentono l'aspirazione dei fumi sviluppati nei singoli posti di lavoro; il collegamento posto di lavoro-derivazione viene ottenuto mediante l'innesto nelle derivazioni di tubi flessibili in PVC collegati con altrettante cappe aspiranti che, mediante calamite, vengono fissate nelle immediate vicinanze della zona da saldare e, comunque, ad una distanza non superiore a 25-30 cm (Fig. 2).



Fig. 1. — Dispositivo di aspirazione in corrispondenza di un posto di saldatura.

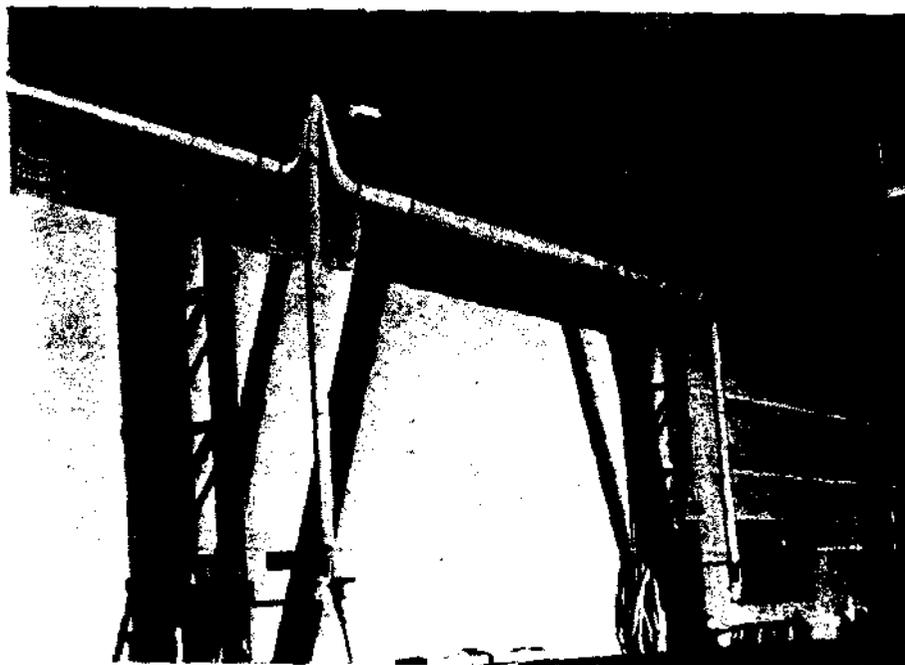


Fig. 2. — Impianto di aspirazione fumi di saldatura con più derivazioni.

Il sistema di aggancio delle cappe aspiranti, basato principalmente sulla presenza di calamite, ne limita, però, l'impiego, in relazione anche alla molteplicità di forme e dimensioni dei manufatti da saldare oltre, ovviamente, alla natura del materiale; risultano pertanto spesso risolutivi gli impianti di aspirazione caratterizzati da raccordi, a snodo orientabile, e da bracci flessibili di posizionamento.

In relazione alle possibilità offerte dall'aspirazione localizzata è utile esaminare i risultati di alcuni prelievi effettuati in corrispondenza di saldatori operanti ad arco manuale, con impianto di aspirazione in funzione o spento (Tab. 2).

TABELLA 2

**Esemplificazione di bonifiche ottenute in corrispondenza
delle saldature ad arco manuale**

LAVORAZIONE	Concentrazione ponderale di polveri e fumi espresse in mg/m ³	
	Senza aspirazione	Con aspirazione
Saldatura di un tronchetto al distributore	93,3	1,5
Saldatura interna di un reattore	12,7	4,5
Saldatura esterna di un prepolymerizzatore	2,5	0,9
Saldatura interna di uno scambiatore	141,3	2,0

I risultati ottenuti in innumerevoli circostanze, come documentato anche dalle Fig. 3 e 4, sottolineano che, praticamente, i fumi di saldatura sviluppati possono essere allontanati dall'operatore in misura soddisfacente, purché si disponga di attrezzature pratiche di aspirazione, fisse e mobili, e purché esista da parte degli operatori, una disponibilità al loro impiego.

Gli impianti centralizzati di aspirazione sono integrati da un certo numero di aspiratori mobili, utilizzati nelle posizioni di saldatura più distanti e, soprattutto, all'interno dei manufatti.

In merito al particolato totale riscontrato presso posti di saldatura ad arco sommerso, risulta confermato che questo tipo di saldatura è caratterizzato da una bassa emissione di fumo.

Nel caso poi di saldature a gas schermante esistono delle limitazioni all'impiego di impianti di aspirazione per allontanare i fumi di saldatura, in quanto che si corre il rischio di allontanare contemporaneamente il gas schermante. Questo concetto vale in particolare per la saldatura a CO₂,

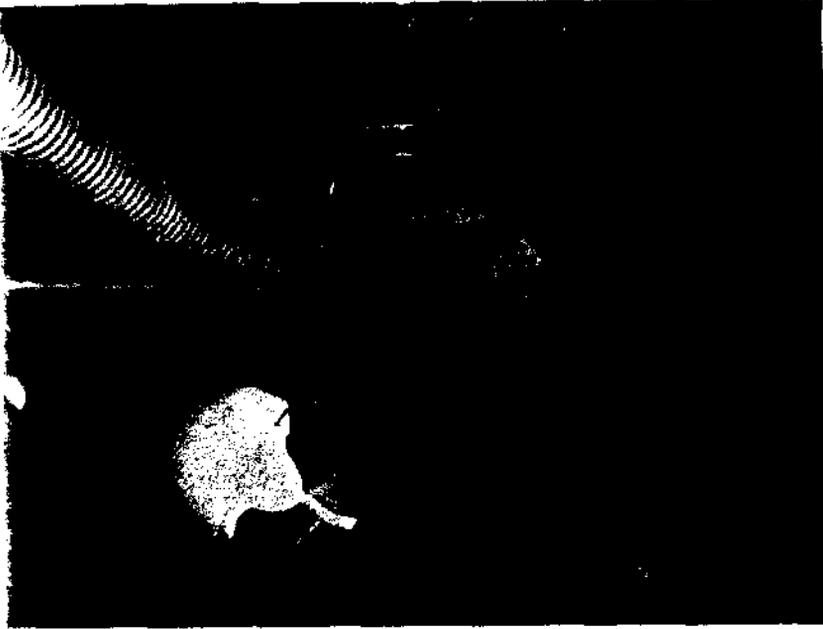


Fig. 4. — Saldatura all'interno dello stesso pezzo di Fig. 3 con l'aspiratore in funzione.

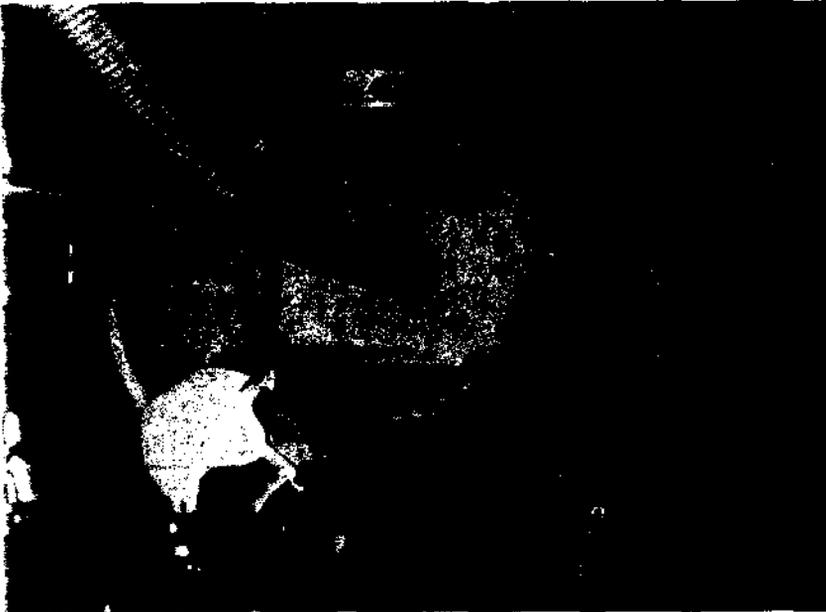


Fig. 3. — Saldatura all'interno di un pezzo con aspiratore spento.

durante la prima passata di saldatura; nelle passate successive si può utilizzare l'aspirazione incorporata nella torcia delle saldatrici, al di sopra dell'alimentatore del gas protettivo, o quella di impianti normali.

In merito alla saldatura in MIG di manufatti in alluminio, dove ad una intensa emissione di fumi si associa una notevole emissione di radiazioni ultraviolette, riteniamo interessante mostrare l'attrezzatura montata in corrispondenza della testa di una saldatrice automatica a filo continuo di alluminio con argon (Fig. 5) e consistente in una cappa collegata ad una debole sorgente di aspirazione e munita di vetro inattinico specchiato e protetto con vetro pyrex sul lato dell'arco voltaico.

Le operazioni di taglio a fiamma su acciaio al carbonio o basso legato sono eseguite con fiamma ossi-propanica ed ossi-metanica, mentre per l'acciaio inossidabile, l'alluminio ed altri metalli speciali viene impiegato il taglio al plasma.

Le operazioni di taglio a fiamma vengono eseguite in postazioni fisse, nelle quali si opera con fiamma rivolta verso il basso, dove la polvere viene trattenuta da vasche d'acqua e da ghiaio inumidito: in questo modo gran parte della polvere, proveniente da ruggine e calamina delle lamiere, viene trattenuta.

Per quanto riguarda il taglio al plasma, in considerazione della notevole diffusione nell'ambiente di minutissime particelle di fumi del metallo tagliato, in particolare quando si opera sull'alluminio, è stata creata un'apposita postazione (Fig. 6), che consiste in una cabina di aspirazione costituita da un grigliato (sul quale viene deposta la lamiera da tagliare) e dalla parete di fondo a velo d'acqua: l'aspirazione attraverso il grigliato e la parete di fondo sfrutta anche la presenza dell'acqua per l'abbattimento dei fumi. Inoltre la cabina, sul tetto, è munita di due aspiratori aggiuntivi che captano eventuali fumi residui convogliandoli all'esterno. Ciò ha consentito di ridurre notevolmente l'entità dei fumi nel taglio delle lamiere di alluminio e di ottenere valori minimi nel taglio delle lamiere in acciaio inox.

In merito alla eliminazione delle polveri che si formano durante la molatura, essendo difficile risolvere adeguatamente il problema a causa del peso delle particelle costituenti la polvere, che ne limita la rimozione mediante aspirazione, ci si è anche indirizzati verso il riesame dei cicli tecnologici delle preparazioni di saldatura e dei tipi di saldatura adottati, al fine di ridurre sensibilmente l'esigenza di molature: ciò ha comportato, presso un nostro stabilimento, il dimezzamento delle operazioni di molatura dal 1970 ad oggi.

Le operazioni di molatura, ad ogni modo, possono suddividersi in operazioni da eseguirsi su postazioni fisse e su pezzi ripetitivi e in operazioni da eseguirsi su manufatti che, per la loro dimensione, non consentono lo spostamento in postazioni prestabilite.

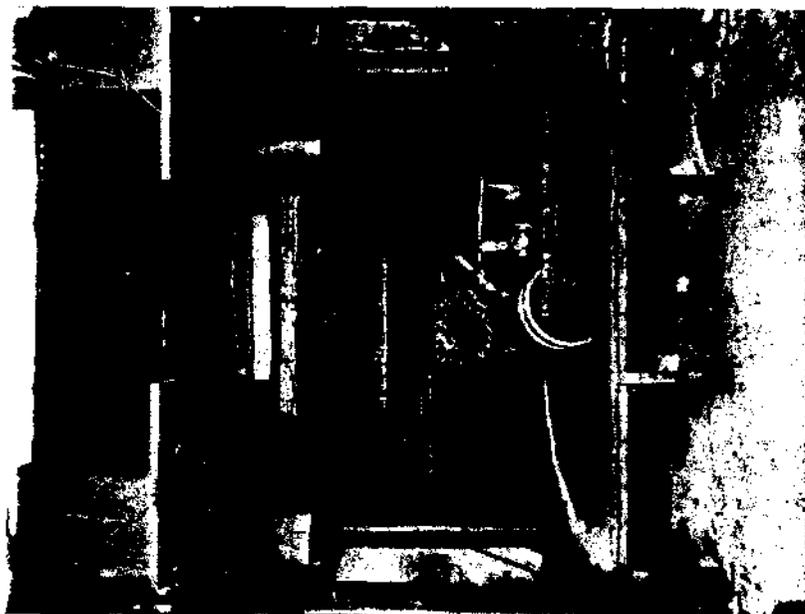


Fig. 6. — Postazione con impianto di aspirazione per il taglio al plasma.



Fig. 5. — Attrezzatura montata in corrispondenza della testa di una saldatrice automatica a filo continuo di alluminio con argon.

Vengono riportati alcuni esempi di intervento:

a) molatura (sbavatura) di diaframmi per scambiatori (Fig. 7). In conseguenza della forma dei diaframmi è stato sistemato un posto fisso di molatura semicircolare dotato di impianto fisso di aspirazione con ciclone separatore a spirale interna e con filtro a 24 maniche filtranti a scuotimento automatico. La polvere viene raccolta mediante un ampio collettore che ne impedisce la proiezione nell'ambiente: sono stati ottenuti, infatti, valori di concentrazione ponderale delle polveri totali compresi tra 1,1 e 1,6 mg/m³. È da rilevare che la molatura degli stessi manufatti, condotta con impianto di aspirazione fermo, provoca una concentrazione ponderale delle polveri totali compresa tra 7,5 e 13,2 mg/m³;

b) molatura sui bordi (smusso) di fondi stampati e di particolari di dimensioni contenute (Fig. 8). È stata creata una postazione per la molatura di corpi di altezza inferiore a 1 m costituita da un impianto di aspirazione della portata di 15.000 m³/h, con filtro a 32 maniche filtranti a scuotimento, e collegata con un collettore orientabile.

Sono stati creati anche alcuni posti di molatura fissi, per la molatura di manufatti di dimensioni medie, costituiti da abbattitori di polveri, a velo d'acqua (Fig. 9). (N.B. Vengono utilizzati aspiratori mobili che scaricano l'aria all'interno dello stabilimento, attraverso una sacca filtrante montata sugli aspiratori stessi (Fig. 10)).

Inoltre è stato recentemente installato un impianto di molatura a nastro, opportunamente insonorizzato, e dotato di aspirazione per l'asportazione della polvere durante le operazioni di molatura condotte all'interno di virole.

Un altro settore affrontato in profondità nell'ambito della « Nuovo Pignone » è stato quello delle vernici e delle tecnologie di applicazione.

Oltre ad accertare il rispetto, da parte dei fornitori di vernici e solventi, della legge 5 marzo 1963, n. 245, che regola l'impiego del benzolo e dei suoi omologhi nelle attività lavorative, le tecnologie della verniciatura industriale disponibili sono state esaminate non solo alla luce dei differenti prodotti, ma tenendo presenti anche le condizioni di igiene industriale che ogni metodo avrebbe comportato. A questo fine è stata quasi completamente eliminata la verniciatura a spruzzo con vernici a solvente e con aria di atomizzazione, puntando sulla verniciatura *airless* a caldo e sulla verniciatura elettrostatica, e dotando, inoltre, l'ambiente di lavoro di cabine di verniciatura con aspirazione a velo d'acqua oppure a pavimento o con aspirazione combinata, per le quali sono state fissate precise norme di fornitura da rispettare. Inoltre si è cercato, quando possibile, di automatizzare i processi di verniciatura, inserendoli in impianti continui a carosello.

Si è realizzato ad esempio un impianto continuo di sgrassaggio, cromatazione e verniciatura elettrostatica con polveri epossidiche di manu-



Fig. 7. — Molatura di diaframmi per scambiatori in una postazione con impianto d'aspirazione a lamina d'aria

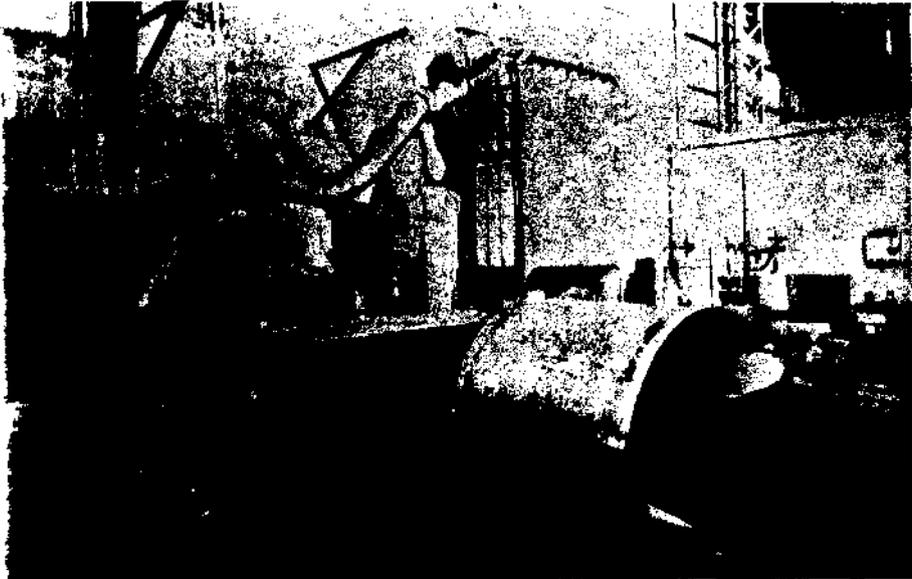


Fig. 8. — Impianto fisso di aspirazione per molatura con filtro a maniche



Fig. 9. — Impianto fisso di abbattimento a pelo d'acqua per polveri di molatura.



Fig. 10. — Aspiratore mobile per polveri di molatura.

fatti in alluminio; le operazioni di carico e di scarico del trasportatore meccanico a monorotaia sospesa avvengono in un'unica posizione, che è quella di permanenza dell'addetto.

Il ciclo avviene in ambiente isolato e può essere controllato attraverso vetrate; le esalazioni sono eliminate dal tunnel e dai vari settori dell'impianto mediante impianti di aspirazione che espellono l'aria all'esterno dopo il filtraggio.

Nel settore della verniciatura si possono annoverare altri impianti a carosello:

a) impianto continuo di sgrassaggio, fosfatazione e verniciatura per immersione di manufatti in acciaio;

b) impianto per la verniciatura di regolatori di pressione e di contatori per gas, mediante verniciatura elettrostatica automatica;

c) impianto per la verniciatura di componenti di telai tessili in alluminio, in ghisa ed in acciaio, mediante immersione in una vasca contenente una vernice ad acqua.

L'impiego delle vernici all'acqua e soprattutto quello delle vernici in polveri s'inquadra ovviamente nel programma di assicurare ambienti di lavoro disinquinati, discorso tanto più valido trattandosi di impianti automatici, in cui non è richiesta la presenza diretta dell'uomo.

Un esempio di intervento per disinquinare l'ambiente da agenti chimici e dell'opportunità di agire, possibilmente, alla sorgente si è verificato in uno stabilimento della « Nuovo Pignone » ove vengono prodotti distributori per carburanti e, più esattamente, nel locale ove si procede alla loro taratura, effettuata con normale benzina, in base alle prescrizioni un tempo vigenti.

Per quanto riguarda il ricambio di aria nell'ambiente, anche se questo era provvisto di aspiratori a parete fin dalla progettazione dello stabilimento, presentava in effetti delle lacune evidenti, in quanto che gli aspiratori non riuscivano mai ad assicurare un ricambio di aria nell'ambiente di lavoro, mancando una pari immissione di aria esterna. I risultati analitici dell'indagine condotta in questo ambiente davano un indice di rischio prossimo ad 1 per i soli idrocarburi aromatici. Veniva pertanto deciso un miglioramento ambientale con l'installazione di un impianto di termoventilazione a totale ricambio d'aria, a 30 ricambi/h, puntando anche all'abbattimento dell'inquinante alla sorgente, mediante la realizzazione di un'aspirazione localizzata sui punti di maggiore inquinamento, come i pozzetti a pavimento connessi ai serbatoi interrati utilizzati per il prelievo del carburante per la taratura dei distributori.

I risultati analitici ottenuti dopo tale bonifica sono stati eccezionalmente soddisfacenti portando l'indice di rischio da ca. 1 a 0,02 per gli stessi idrocarburi aromatici.

Altro esempio di intervento, presso uno stabilimento della « Nuovo Pignone », per una lavorazione specifica ha interessato il reparto in cui vengono prodotti i manufatti in PRFV, quali elementi della edilizia prefabbricata. La lavorazione ora praticata (Fig. 11) è tipicamente manuale ed avviene per impregnazione del rinforzo vetroso con una soluzione di poliesteri lineari in stirene, i cui vapori inquinano l'ambiente di lavoro, creando un rischio per l'operatore e per gli altri addetti che comunque operano nello stesso ambiente.

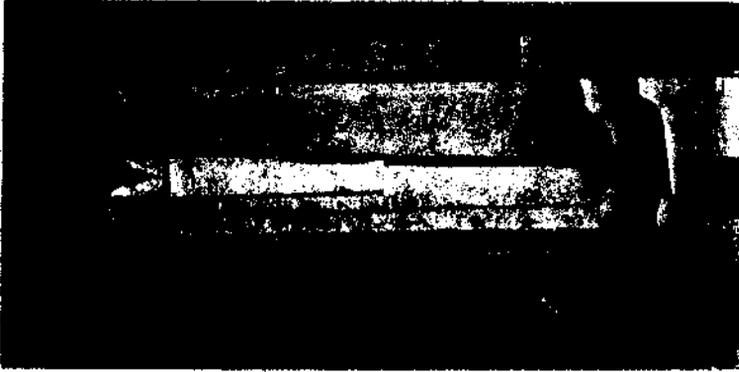


Fig. 11. — Realizzazione di manufatti in poliestere rinforzato con fibre di vetro mediante impregnazione a mano.

Per migliorare le condizioni di lavoro, è stato realizzato un impianto di termoventilazione (Fig. 12) che, oltre a ricambiare l'aria impedendo che la concentrazione di stirene raggiunga valori troppo elevati, garantisca una temperatura interna superiore a 16 °C.

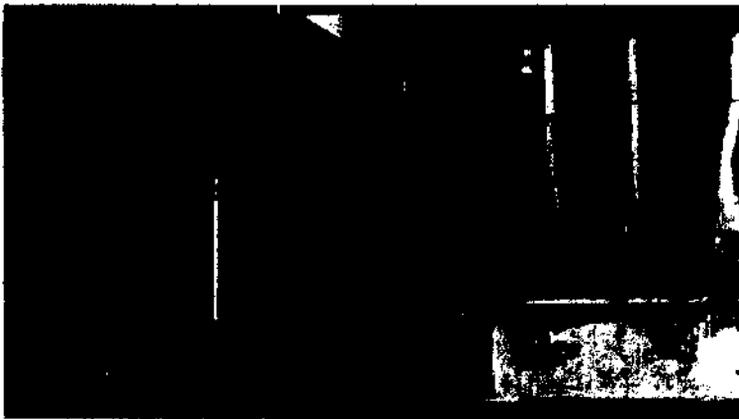


Fig. 12. — Impianto di termoventilazione nel reparto lavorazione poliestere.

Dopo questo intervento, la concentrazione media, nelle 8 ore lavorative, dello stirene monomero, al centro ambiente, è passata da 30 ppm a valori inferiori a 5 ppm.

L'impianto è stato realizzato prevedendo l'immissione di 90.000 m³/h di aria interamente prelevata dall'esterno, e l'espulsione di 70.000 m³/h attraverso il sistema aspirante dell'impianto stesso e di 20.000 m³/h attraverso la cabina di verniciatura, presente nello stesso reparto: in tal modo vengono assicurati 12 ricambi di aria/h.

Inoltre, per disinquinare il posto di lavoro in particolare, sono state effettuate con esito soddisfacente prove di produzione di manufatti in PRFV con il metodo dell'iniezione, una metodologia nuova, tuttora in fase di studio. Il procedimento, che consiste nell'iniettare, sotto pressione, la resina poliestere tra stampo e controstampo dopo aver sistemato tra questi il rinforzo in vetro, offre il vantaggio, sul piano igienico, di evitare che lo stirene monomero inquina il posto di lavoro, in quanto che il manufatto in PRFV viene estratto dall'accoppiamento stampo-contro-stampo solo dopo che la polimerizzazione si è praticamente completata.

Purtroppo, questa nuova tecnologia trova una limitazione nell'esigenza di realizzare stampi molto robusti e costosi, giustificati solo da produzioni di serie.

Per quanto riguarda lo sgrassaggio vengono impiegati esclusivamente tricloroetano e soluzioni acquose di sgrassanti biodegradabili; queste operazioni vengono condotte in posti di lavoro muniti di aspirazione (talvolta le stesse cabine di verniciatura) oppure impiegando macchine automatiche, in cui i particolari lavorati, sistemati in cestelli, sono esposti ai vapori del tricloroetano; l'operaio si limita ad agganciare e sganciare i cestelli dalla catena, occupando una posizione che è interessata dalla aspirazione di cui è dotata la macchina di sgrassaggio.

Lo sgrassaggio con soluzione acquosa di prodotti biodegradabili viene, invece, effettuato in macchine a tenuta di vapore, nelle quali automaticamente si inserisce l'aspirazione all'atto dell'apertura.

È opportuno anche citare l'intervento effettuato su di una serie di macchine alettatrici, che provvedono cioè alla produzione di tubi alettati da nastro di alluminio (Fig. 13): queste macchine sono state dotate di un impianto di aspirazione con una cappa a pareti in vetro per evitare che l'operatore sia esposto ai vapori di tricloroetano e agli aerosol da oli di lubrificazione.

Relativamente all'impiego dei liquidi penetranti, scartato l'impiego di questi prodotti in bombolette nebulizzatrici, l'operazione viene eseguita sempre a pennello, quando è possibile in banchi o locali sotto aspirazione oppure sotto tettoie all'aperto; l'operatore è comunque protetto con maschere opportune.



Fig. 13. — Impianto di aspirazione montato su macchine elettatrici.

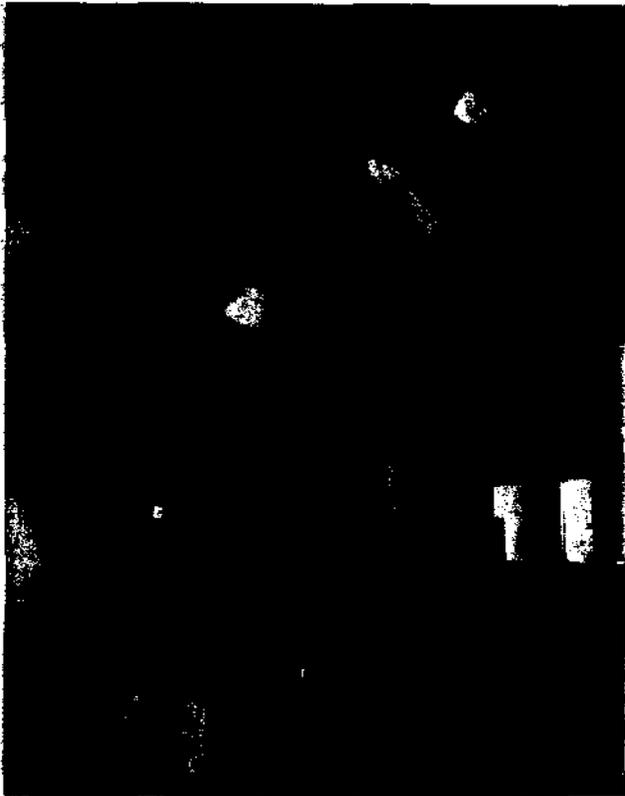


Fig. 14. — Cappe di aspirazione per trattamenti termici.

Per eseguire controlli all'interno dei serbatoi, il personale è stato dotato di maschere con autorespiratore.

Per i trattamenti termici in olio (Fig. 14), provvedimenti sono in corso, ed in parte già attuati, mediante l'installazione di cappe aspiranti.

Infine, in merito agli aerosoli da oli di taglio che si generano in corrispondenza di macchine utensili particolarmente veloci, si stanno prendendo i primi provvedimenti, dopo i necessari periodi di sperimentazione; la Fig. 15 mostra un tornio con un impianto di aspirazione a cappa che consente l'aspirazione dell'aria impregnata di olio, la ricondensazione dell'olio con separazione delle particelle solide ed espulsione dell'aria all'esterno.



Fig. 15. — Tornio con impianto di aspirazione.

Concludendo, quanto sopra riferito dà una documentazione significativa dell'indagine svolta presso la « Nuovo Pignone », in merito al problema dell'indagine industriale e degli interventi correttivi attuati su alcune lavorazioni.

Riassunto. — Negli ambienti confinati di lavoro dell'industria sono molti gli inquinanti prodotti dalle varie lavorazioni e gli interventi di bonifica debbono essere rivolti al particolare tipo di inquinamento nella particolare lavorazione. Vengono descritte dagli AA. una serie di interventi correttivi adottati per rimuovere i fumi di saldatura, le polveri di molatura, i vapori di solventi, i pigmenti delle vernici e i vapori di idrocarburi.

Summary (*Reduction of the pollution produced by chemical agents in mechanical factory*). — In indoor factory environments many defiling substances are produced by different working processes. Reclamation operations must, therefore, be directed to the single types of pollution involved.

A series of corrective operations, aiming at the elimination of fumes, grinding powders, solvent vapours, paint pigments and hydrocarbon vapours, are described.

BIBLIOGRAFIA

1. CECCHETTI, G. & G. GUELFO. 1975. Gli agenti chimici nell'industria meccanica. *Med. Lav.* **66**: 339-347.