

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

FACOLTA' DI AGRARIA

DIPARTIMENTO GEMINI

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA IN MECCANICA AGRARIA XIX CICLO.

ESPOSIZIONI A POLVERI E RUMORI PER GLI ADDETTI NELLA FILIERA DEL
NOCCIOLO

SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE AGR/09

Coordinatore: Prof. Ing. Danilo Monarca

Firma

Tutor: Prof. Ing. Danilo Monarca

Firma

Dottorando: Puleggi Raffaella

Firma

INDICE

| | |
|---|----|
| INDICE | 3 |
| INTRODUZIONE | 5 |
| 1 LE POLVERI | 8 |
| 1.1 DEFINIZIONE, CARATTERISTICHE E POLVERI RESPIRABILI..... | 8 |
| 1.2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI | 11 |
| 1.3 LA SILICE | 14 |
| 2 MISURAZIONE DELLE POLVERI AERODISPERSE | 16 |
| 2.1 CAMPIONAMENTO DELLA FRAZIONE RESPIRABILE | 17 |
| 2.2 I FILTRI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE | 26 |
| 2.3 ANALISI QUALITATIVA DELLA POLVERE: DIFFRATTOMETRIA A RAGGI X | 28 |
| 3 IL RUMORE | 33 |
| 3.1 DEFINIZIONE | 33 |
| 3.2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI | 36 |
| 3.3 STRUMENTI DI MISURA DEL RUMORE | 42 |
| 3.4 EFFETTI DANNOSI DEL RUMORE SULL'UOMO | 44 |
| 3.5 DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE DELL'UDITO | 46 |
| 4 CICLO PRODUTTIVO MONITORATO | 47 |
| 4.1 LA RACCOLTA MECCANIZZATA DELLE NOCCIOLE | 47 |
| 4.2 I NOCCIOLIFICI | 55 |
| 5 MATERIALI E METODI | 63 |
| 5.1 PROCEDURA ESEGUITA PER IL CAMPIONAMENTO DELLE POLVERI | 64 |
| 5.2 STRUMENTAZIONE E MODALITA' DI MISURA PER IL RUMORE | 68 |
| 6 RISULTATI | 71 |
| 6.1 RILEVAMENTI FONOMETRICI | 71 |
| 6.2 LIVELLI DI ESPOSIZIONE | 76 |
| 6.3 ANALISI DEI RISULTATI FONOMETRICI | 81 |
| 6.4 CAMPIONAMENTI POLVERI | 83 |
| 6.5 ANALISI DEI RISULTATI SULLE POLVERI | 93 |
| 7 CONCLUSIONI | 95 |

| | |
|----------------|-----|
| ALLEGATO A | 98 |
| BIBLIOGRAFIA | 100 |
| RINGRAZIAMENTI | 105 |

INTRODUZIONE

In questi ultimi decenni abbiamo assistito ad un generale miglioramento delle condizioni lavorative. Ciò è stato possibile, oltre che per l'entrata in vigore della normativa relativa alla sicurezza nei luoghi di lavoro, anche grazie al sempre maggiore interesse e al lavoro di varie istituzioni (quali: ISPESL, INAIL, Regioni, Università, ecc..) che hanno, tra gli altri, come obiettivo la salvaguardia della salute e della sicurezza dei lavoratori. Nonostante questo, per promuovere la salute nei luoghi di vita e di lavoro, c'è ancora da impegnarsi per cercare di ridurre al minimo i rischi lavorativi ancora presenti nel nostro paese.

Con il presente lavoro si è cercato di fare un quadro delle reali condizioni ambientali presenti nel ciclo di lavorazione delle nocciole, iniziando dalla raccolta, e con particolare riferimento al problema dell'esposizione degli addetti alle polveri e al rumore. Rivolgendo l'attenzione all'aspetto delle eventuali patologie professionali derivabili da questo tipo di esposizione. Le ipoacusie da rumore, infatti, ancora oggi rappresentano circa il 50% di tutte le malattie professionali indennizzate, costituendo una delle tecnopatie più frequente in agricoltura. A seguire, tra le malattie professionali più denunciate in agricoltura, troviamo l'asma bronchiale e le alveoliti allergiche.

Le polveri aerodisperse negli ambienti di lavoro si presentano con caratteristiche, qualità e livelli di concentrazione variabili da attività ad attività. Purtroppo il problema delle polveri è particolarmente sentito in agricoltura, in particolare dopo l'avvento della meccanizzazione e specifici tipi di lavorazioni rendono inevitabile la dispersione nell'aria anche di enormi quantitativi di polveri provenienti dal terreno. Pertanto, obiettivo principale di questo lavoro è stato quello di "saperne di più" circa la natura dell'esposizione alle polveri durante il ciclo di lavorazione delle nocciole. Ciclo che è stato fatto iniziare dai cantieri di raccolta meccanizzata per proseguire con le principali lavorazioni della frutta in guscio. La raccolta, ormai meccanizzata fin dagli inizi degli anni '80, rappresenta il momento in cui si ha maggiore polverosità, dovuta oltre che alla tipologia di macchina utilizzata, anche dalle condizioni del terreno in genere ben asciutto, (anche se ciò è influenzato dagli agenti atmosferici) durante il periodo in cui avviene la raccolta. Le macchine per la raccolta sono di due tipologie di funzionamento: aspiratrici e raccattatrici (semoventi o trainate).

Proprio per questo sono stati testati diversi modelli di macchine: dai prototipi più recenti alle prime messe sul mercato.

Per approfondire l'argomento, ci si è posto l'obiettivo di conoscere, oltre al quantitativo inspirato durante questo tipo di lavorazione, anche la qualità, per così dire, della polvere inalata, e comunque verificare la presenza di silice libera cristallina. Quindi, a tal fine si è richiesta la collaborazione per indagini ambientali, sul rischio polveri durante la raccolta meccanizzata delle nocciole, del Laboratorio di Igiene Industriale, Dipartimento di Prevenzione dell'Azienda Sanitaria Locale di Viterbo, diretto dal Dr. F. Cavariani. Tale laboratorio è specializzato, in particolare, per le analisi della silice e dell'amianto. Tra le principali attività del laboratorio evidenziamo:

- determinazione dell'amianto e di fibre artificiali in tutte le matrici (aria, acqua, terreno, materiali) in microscopia ottica, microscopia elettronica a scansione e in diffrattometria a raggi X
- determinazione della silice cristallina nei materiali ed aerodispersa
- valutazione dell'esposizione a polveri aerodisperse con misure in continuo
- misurazioni ergonomiche (movimentazione manuale carichi, postazioni VDT, operazioni ripetitive)
- misure di microclima (temperatura, velocità aria, umidità relativa)
- misurazioni fonometriche e dosimetria personale del rumore industriale
- redazione nazionale e regionale di "Lavoro e Salute", Agenzia notizie della prevenzione in ambiente di vita e di lavoro delle Regioni
- NIS Network Italiano Silice, struttura tecnica di Ispesl, Iss, Inail ed Asl, coordinato dalle Regioni sui rischi per la salute dell'esposizione a silice durante il lavoro
- GIF Gruppo Interregionale Fibre per il coordinamento tecnico delle Regioni: struttura tecnica di Ispesl, Iss, Inail ed Asl, coordinato dalle Regioni sui rischi per la salute dell'esposizione a fibre minerali durante il lavoro
- Valutazione e gestione piani di lavoro per la bonifica dell'amianto
- Programmi di controllo e manutenzione dei materiali con amianto
- Valutazione inquinamento da polveri (legno, PNOC, silice).

Inoltre il laboratorio collabora con l'I.S.P.E.S.L. per la realizzazione di diversi progetti di ricerca: studio di fattibilità per l'impianto di un flusso informativo di un repertorio nazionale degli infortuni mortali in occasione di lavoro; analisi del fabbisogno formativo riferito a profili tecnici dei Servizi Sanitari di Prevenzione e Sicurezza per strategie di aggiornamento in autoistruzione e/o formazione a distanza; profilo dei rischi nelle discariche RSU; ed altro. E' in questo laboratorio che sono stati esaminati i campioni prelevati durante la raccolta delle nocciole per riscontrare la presenza della silice (SiO_2). In particolare la silice desta interesse non soltanto perché è una delle sostanze più largamente presenti nella crosta terrestre, specialmente con il quarzo che è senza dubbio la sua forma più comune e diffusa, ma anche perché da tempo sono note le conseguenze che si hanno in seguito all'inalazione di polveri contenenti silice. La silicosi è la malattia respiratoria cronica più conosciuta.

Ancora, con questo lavoro si è potuta acquisire maggiore consapevolezza sulle condizioni ambientali di lavoro nella fase di post-raccolta, dal momento che sono stati presi dati ed informazioni in aziende, associazioni e cooperative che gestiscono tale fase della lavorazione delle nocciole nella zona del viterbese. Tali indicazioni sono utili, insieme alla conoscenza delle principali disposizioni normative inerenti a definire i limiti di tollerabilità per i vari fattori di rischio (come la polverosità ed il rumore) ed insieme allo studio di DPI sempre più efficaci ed efficienti, al fine di migliorare la qualità di vita dei lavoratori in un settore di particolare importanza, sia economica che ambientale, per il territorio dei Cimini.

1 LE POLVERI

1.1 DEFINIZIONE, CARATTERISTICHE E POLVERI RESPIRABILI

Per polveri si intendono tutte le particelle solide, di dimensioni variabili dal campo submicroscopico al campo visivo, disperse nell'aria ed aventi la stessa composizione chimica dei materiali dai quali si originano. La pericolosità delle polveri è inversamente proporzionale alle loro dimensioni; infatti inferiore è la loro dimensione, maggiore è la loro capacità di penetrare nei polmoni. Oltre alla loro composizione chimica, in base alla quale possono essere distinte in organiche ed inorganiche, i parametri più importanti impiegati per definire le caratteristiche delle polveri sono: la concentrazione e la granulometria. La natura delle polveri è la più svariata: silice, ossido di zinco, particelle carboniose, fumi di combustione, sostanze radioattive, amianto, insetticidi, sostanze organiche come quelle che derivano dal cotone e dai cereali. Per concentrazione si intende la quantità di particelle in sospensione in un metro cubo di aria; generalmente viene espressa in mg/m^3 (massa in mg delle particelle solide contenute in un m^3 di aria), in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in ppm (parti per milione: volume delle particelle contenute in 10^6 unità di volume) ed in pp/cm^3 (numero di particelle contenute in un centimetro cubo di aria).

La granulometria indica le dimensioni delle particelle: si definisce un diametro d espresso come media aritmetica delle tre dimensioni della particella (lunghezza l , larghezza b e spessore s). Maggiore rilevanza ha però, nello studio della pericolosità per inalazione, la suddivisione tra polveri respirabili e polveri non respirabili in funzione del loro diametro aerodinamico. Tale diametro rappresenta il diametro di una sfera di massa volumica unitaria ($1\text{g}/\text{cm}^3$) che nel campo gravitazionale ha un comportamento identico a quello della particella in esame (stessa velocità terminale di sedimentazione). Le ormai famose PM_{10} (dall'inglese particulate matter, con diametro aerodinamico inferiore a $10\ \mu\text{m}$) rappresentano le polveri in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio; mentre le $\text{PM}_{2,5}$ rappresentano le polveri in grado di penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (alveoli polmonari).

Queste ultime sono le più pericolose in quanto sono in grado di depositarsi nel tratto polmonare provocando infiammazioni, fibrosi e neoplasie. Più recentemente l'attenzione si è spostata sulle PM_1 cioè le particelle ultrafini (PUF) che hanno

dimensioni nanometriche (PN), siamo in pratica nell'intervallo dimensionale inferiore a $0,1 \mu\text{m}$ (o 100 nm). Queste ulteriori ricerche sono mosse dal fatto che le particelle più piccole più è alto il loro potere nocivo sulla salute dell'uomo.

Nello studio sulle polveri aerodisperse il campionamento con selezione dimensionale delle particelle in sospensione nell'aria, dettato dall'esigenza di stimare le frazioni che interessano le principali regioni dell'albo respiratorio, ha sostituito progressivamente il campionamento delle polveri totali sospese negli ambienti di lavoro.

In base al loro diametro aerodinamico è possibile classificare le polveri in: inalabili, toraciche e respirabili. Le polveri inalabili rappresentano la frazione di massa delle particelle aerodisperse aventi per il 50% un taglio dimensionale di $100 \mu\text{m}$ inalate e trattenute dalle prime vie respiratorie (naso e bocca). Le polveri toraciche rappresentano la frazione di massa delle particelle aerodisperse aventi per il 50% un taglio dimensionale di $10 \mu\text{m}$ e penetranti nell'area compresa tra la laringe ed i bronchi.

Le polveri respirabili, infine, rappresentano la frazione di massa delle particelle aerodisperse aventi per il 50% un taglio dimensionale di $4 \mu\text{m}$ in grado di penetrare le vie respiratorie non ciliate. La maggior parte delle particelle di dimensioni maggiori viene intercettata, a livello del naso e dei bronchi, grazie alla presenza sulle pareti di ciglia vibratili che tendono a respingere ed espellere i corpuscoli estranei; l'eliminazione è facilitata anche dal fluido che bagna le mucose respiratorie e dai colpi di tosse. Questi meccanismi di difesa tendono a perdere efficacia quando lo stimolo polveroso è massiccio e/o prolungato nel tempo. La frazione della polvere più fine raggiunge, invece, i bronchioli respiratori e gli alveoli polmonari dove avvengono gli scambi gassosi.

Le polveri con azione patologica sull'uomo vengono classificate in due categorie: polveri pneumoconiogene e polveri non pneumoconiogene.

Le prime sono quelle che esplicano la loro azione a livello dell'apparato respiratorio, provocando pneumoconiosi, che è un accumulo di polveri nei polmoni, e conseguente reazione del tessuto polmonare. Queste, a loro volta, possono essere suddivise in polveri inerti e polveri fibrogene. Le prime non alterano la struttura dell'apparato respiratorio, dando luogo a reazioni che possono modificare il tessuto in maniera potenzialmente reversibile (come per esempio: ossido di alluminio, amido, cellulosa, gesso). Le seconde possono provocare alterazioni più gravi modificando la struttura degli alveoli,

provocando una reazione fibrogena da parte del tessuto (come per esempio: silice cristallina, amianto). Queste patologie sono soggette ad ulteriori peggioramenti, anche dopo l'esposizione, fino alla comparsa di malattie come la silicosi (provocata da polveri di biossido di silicio), l'asbestosi (provocata da polveri di amianto), bissinosi (provocata da polveri di cotone) siderosi (provocata da polveri di ferro od ossidi di ferro).

Le polveri non pneumoconiogene sono dannose in quanto possono veicolare particolari sostanze o principi attivi in grado di passare in circolo nell'organismo tramite il sistema emo-linfatico (come per esempio le polveri che contengono metalli e loro sali, oppure sostanze organiche) [10].

Data la pericolosità delle polveri suddette si è assistito negli ultimi anni, ed è previsto anche per i prossimi, ad un aumento di studi, ricerche, normative al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi sulla salute umana e per l'ambiente nel suo complesso.

1. 2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

La legislazione italiana in materia risale all'anno 1956 con il DPR n° 303 del 19 marzo che poneva l'obbligo per i datori di lavoro, in caso di lavori che danno origine a polveri di qualunque specie, di "impedirne o ridurne, per quanto possibile, lo sviluppo e la diffusione nell'ambiente di lavoro". La legge 615 del 1966, contro l'inquinamento atmosferico, stabilisce dei canoni per gli impianti industriali. In tali testi, però, non vengono specificati: livello di pericolosità, soglia per la concentrazione nell'aria delle polveri, tempi di esposizione senza effetti negativi. Bisogna aspettare gli anni ottanta, dopo l'emanazione dei regolamenti da parte dell'Unione Europea, per avere una legislazione più approfondita (DPR. 30/1983, DPR. 203/88, DM. 51/90). Più recentemente il D. Lgs. 277/1991 (quasi completamente abrogato), che recepiva varie direttive CEE (n. 80/1107, n. 82/605, n. 83/477, n. 86/188, n. 88/642) in materia di protezione dei lavoratori contro rischi derivanti da agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, forniva le definizioni di polvere inspirabile e respirabile e di valore limite, espresso in mg/m^3 come concentrazione media ponderata dell'esposizione su un periodo di otto ore lavorative.

Il D. Lgs. 626/94 (recepimento di una serie di direttive comunitarie: 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE, 90/679/CEE, 93/88/CEE, 97/42/CEE e 1999/38/CE riguardanti il miglioramento della sicurezza dei lavoratori durante il lavoro), che riguarda il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sui luoghi di lavoro, non pone obblighi particolari nel campo della prevenzione dai rischi da polveri, ma disciplina l'esposizione dei lavoratori ad agenti chimici in genere. Il D. Lgs. n° 25 del 2 febbraio 2002, che è l'attuazione della direttiva 98/24/CE ed ha integrato il testo del D. Lgs. 626/94, riguarda la protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro. Il campo di applicazione di questa legge risulta abbastanza ampio in quanto considera gli agenti chimici presenti durante il lavoro a qualunque titolo (nell'impiego, nel deposito, nel trasporto, ecc..) o, per qualunque motivo, derivanti da un'attività lavorativa; però, la norma richiede la "completa valutazione del rischio" da parte dei fornitori o produttori di agenti chimici,

ponendo così l'accento sulla responsabilità delle informazioni contenute nelle schede di sicurezza che accompagnano tali prodotti.

Ancora, di particolare rilievo sono inoltre le normative UNI EN 481 del 1994, la UNI EN 482 del 1998 e la UNI EN 689 del 1997 riguardanti l'atmosfera nell'ambiente di lavoro. In particolare la prima dà la definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse; mentre la seconda offre i requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici.

Attualmente, nel settore dell'Igiene del Lavoro, trovano applicazione i valori limite di soglia (in sigla TLV Threshold Limit Values), fissati e aggiornati annualmente dalla ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), che nel nostro Paese vengono pubblicate sul supplemento di gennaio del "Giornale degli Igienisti Industriali". I TLV indicano le concentrazioni atmosferiche, di alcune sostanze nocive, al di sotto delle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa rimanere esposta ripetutamente senza effetti negativi per la salute. Tuttavia, a causa della variabilità della sensibilità individuale, una percentuale di lavoratori, seppur minima, può accusare disagi in presenza di alcune sostanze le cui concentrazioni sono pari od inferiori ai TLV. Alcuni individui, inoltre, possono essere ipersuscettibili o particolarmente sensibili a determinate sostanze in conseguenza di fattori genetici, età, cure mediche od altro. Pertanto, per tali lavoratori i limiti delle concentrazioni dei TLV possono risultare non adeguati contro gli effetti negativi per la salute. I TLV sono stabiliti in base ai dati più attendibili ricavati dall'esperienza in campo industriale e ai dati di ricerca sperimentale sull'uomo e sugli animali. Il criterio con cui viene fissato il limite tollerabile può variare con il tipo di sostanza considerata: in alcuni casi ci si propone di prevenire i danni alla salute, in altri, di eliminare fenomeni irritativi, di disagio o di stress. I danni per la salute comprendono quelli che possono ridurre l'aspettativa di vita, compromettere le funzioni fisiologiche, influire negativamente sulla funzione riproduttiva o sui processi di sviluppo. Comunque i valori limite devono essere utilizzati come orientamenti o raccomandazioni, soprattutto in mancanza di limiti di legge specifici, allo scopo di prevenire danni per la salute e non costituiscono una netta demarcazione tra livello di sicurezza e livello di pericolo.

Sono previste tre categorie di TLV:

- Valore limite di soglia, media ponderata nel tempo (TLV-TWA): concentrazione media ponderata nel tempo, per una giornata lavorativa di 8 ore e per 40 ore

lavorative settimanali, alla quale i lavoratori possono essere ripetutamente esposti, giorno dopo giorno, senza effetti negativi;

- Valore limite di soglia, limite per breve esposizione (TLV-STEL): concentrazione cui il lavoratore può rimanere esposto per breve tempo, purché il TLV-TWA giornaliero non venga superato, senza che insorgano: irritazioni, danni cronici o alterazioni irreversibili del tessuto, riduzione dello stato di vigilanza di grado sufficiente ad accrescere le probabilità di infortuni o influire sulle capacità di mettersi in salvo. Il TLV-STEL non costituisce un limite di esposizione indipendente, ma piuttosto integra il TLV-TWA di una sostanza la cui azione tossica sia di natura cronica. Uno STEL viene definito come esposizione media ponderata su un periodo di 15 minuti, che non deve mai essere superata nella giornata lavorativa, anche se la media ponderata su otto ore è inferiore ai TLV. Esposizioni al valore STEL non devono protrarsi oltre quindici minuti e non devono ripetersi per più di quattro volte al giorno;
- Valore limite di soglia, di tetto (Ceiling) (TLV-C): concentrazione che non deve essere mai superata durante l'attività lavorativa.

Riguardo al rischio da polvere inerte, definita con il termine PNOC, particelle non diversamente classificate, l'ACGIH stabilisce un TLV-TWA di 10 mg/m^3 per le polveri totali prive di amianto e con percentuale di silice cristallina inferiore all'1%. Per la frazione respirabile viene definito un limite di soglia di 3 mg/m^3 .

Infine per ultimo il D.M. 60/02, che recepisce la direttiva europea 99/30/CE, stabilisce i valori limite, e la data alla quale tali valori devono essere raggiunti, per le polveri PM_{10} , al fine di proteggere la salute umana, e fornisce indicazioni del tutto innovative sul corretto posizionamento di una stazione di misura.

1.3 LA SILICE

Il problema dell'esposizione a silice libera cristallina nei luoghi di lavoro è particolarmente rilevante, essendo questo agente di rischio presente in numerose attività lavorative. Infatti, la silice è estremamente comune in natura e utilizzata in una vasta gamma di prodotti ad uso civile e industriale.

La silice ovvero biossido di silicio (SiO_2) può presentarsi sia in forma amorfa idrata, sia in forma libera cristallina. La silice cristallina libera a sua volta può presentarsi in tre stati: come quarzo, come tridimite e come cristobalite. Essa è largamente presente nella crosta terrestre, e, dei vari polimorfi, questi sono i tre solitamente considerati. Il quarzo è senza dubbio la varietà di gran lunga più diffusa, la cristobalite e la tridimite si possono trovare nelle rocce di origine vulcanica; di queste la tridimite è il minerale meno diffuso. La silice amorfa si trova naturalmente nei sedimenti di origine organica o può essere prodotta artificialmente. Consultando il diagramma di stato P/T della silice cristallina si nota che a pressione ambiente e a basse temperature il quarzo è stabile, esso si trasforma nelle altre forme ad alte temperature. I rischi maggiori sono segnalati, in particolare, per le varietà cristalline.

L'inalazione di polveri contenenti silice cristallina può causare silicosi, tubercolosi polmonare, malattie respiratorie croniche ostruttive, cancro polmonare. La silicosi è la conseguenza della reazione del tessuto polmonare con le particelle di silice depositate nei polmoni che risulta nella formazione di tessuti cicatriziali. La progressione di tali tessuti determina difficoltà respiratorie. La silicosi cronica è la forma più comune di silicosi e si manifesta dopo dieci anni di esposizione a dosi ambientali di silice cristallina relativamente basse.

Nel 1997 la IARC, l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro, sulla base di studi condotti su popolazioni di lavoratori in diversi paesi, ha classificato la silice cristallina libera, nelle forme del quarzo e cristobalite, nel caso dell'esposizione in ambienti di lavoro, come cancerogena per l'uomo [17].

Per questi motivi alcuni paesi hanno introdotto la silice libera cristallina nella lista nazionale dei cancerogeni, l'Unione Europea non l'ha ancora fatto. Non solo: a tutt'oggi, non sono ancora in vigore valori limite per la silice nelle direttive europee e nei decreti nazionali del nostro paese. Nonostante ciò, sono disponibili i valori stabiliti dall'ACGIH (e da altri istituti esperti sull'argomento) per la frazione respirabile che

indica il TLV-TWA di $0,025 \text{ mg/m}^3$ per quarzo e cristobalite. Tale valore è stato dimezzato nel corso dell'anno 2006 [20], il valore precedente era infatti di $0,05 \text{ mg/ m}^3$.
[1]

2 MISURAZIONE DELLE POLVERI AERODISPERSE

La determinazione delle polveri in sospensione nell'aria rappresenta uno dei maggiori obiettivi dell'igiene industriale, al fine di ottenere una corretta valutazione dell'esposizione professionale e quindi del rischio, e per poter avere informazioni sufficienti ad elaborare una prevenzione più efficace possibile. La valutazione delle polveri può essere di tipo qualitativa e quantitativa, quest'ultima può essere numerica o ponderale.

La prima prevede il conteggio delle particelle ed è espressa in numero di particelle contenute in un centimetro cubo di aria (pp/cm^3); mentre la ponderale è basata su un sistema di pesatura che indica il peso delle particelle solide contenute in un metro cubo di aria (mg/m^3). In seguito ad approfondite conoscenze sull'argomento nel corso degli anni, si è giunti alla decisione di dover campionare la frazione delle particelle che riesce a penetrare nelle vie respiratorie non ciliate, passando così da un campionamento delle polveri totali, negli ambienti confinati in genere, ad un campionamento con selezione dimensionale delle particelle. Il diametro aerodinamico delle particelle costituisce l'elemento fondamentale per determinare: il comportamento delle particelle nell'aria e la deposizione nelle varie vie respiratorie, la composizione chimica ed i potenziali effetti sanitari, e l'efficienza del campionamento con dimensioni specifiche.

2. 1 CAMPIONAMENTO DELLA FRAZIONE RESPIRABILE

L'idea di polvere respirabile fu originalmente formulata dal British Medical Council (BMRC) che, nel 1952, elaborò una definizione di polvere respirabile identificandola come la concentrazione in massa delle particelle che passavano oltre un elutriatore orizzontale con un taglio, o cut-off (diametro a cui si ha il 50% di penetrazione o d_{50} ; in pratica descrive la capacità del ciclone o altri frazionatori di trattenere determinate particelle) che approssima la dimensione di taglio a quella della regione di scambio gassoso. Lo stesso riferimento fu adottato dalla Conferenza Internazionale sulle Pneumoconiosi di Johannesburg nel 1959.

Nel 1961 la U. S. Atomic Energy Commission (AEC) ed il Los Alamos Scientific Laboratory (LASL) formularono la loro versione di polvere respirabile, conosciuta come la curva AEC-LASL che rappresentava un modello di penetrazione delle particelle nella regione alveolare migliore di quello proposto dalla BMRC. Nel 1968 la convenzione di campionamento dell'AEC fu adottata dall'ACGIH. Sulla base di questi riferimenti sono stati sviluppati nella pratica essenzialmente due tipi di campionatori per la frazione respirabile, aventi una diversa dimensione di cut-off, ma basati ambedue sul principio di separazione ciclonica: il ciclone di tipo Casella o SIMPEDS (BMRC) avente la dimensione di taglio a $5 \mu\text{m}$ ed il ciclone di nylon (ACGIH) con una dimensione di taglio a $3,5 \mu\text{m}$ [20]. Successivamente, in questi ultimi anni, da parte dell'International Standardization Organization (ISO), del Comité Europeen de Normalization (CEN) e della stessa ACGIH, è stata effettuata una revisione dei precedenti criteri e sono state elaborate nuove definizioni delle frazioni di aerosol di interesse sanitario, nonché dei requisiti necessari per il loro campionamento. L'ISO-CEN-ACGIH hanno specificato, per il campionamento della frazione respirabile, la dimensione di taglio a $4 \mu\text{m}$. La differenza principale tra le convenzioni è nel valore del taglio particellare al 50%, che corrisponde alla dimensione delle particelle che il supporto campionatore raccoglie con una efficienza del 50%.

Gli strumenti che consentono di effettuare un campionamento selettivo delle polveri aerodisperse sono dei campionatori generalmente composti di due stadi. Il primo, un preselettore, simula le vie respiratorie superiori a seconda della curva di respirabilità adottata. Il secondo, un filtro, cattura tutto ciò che penetra oltre il primo

stadio e rappresenta la frazione respirabile delle particelle che entra nelle zone alveolari, senza necessariamente depositarsi completamente. Il sistema preselettore più utilizzato per il campionamento di aerosol respirabile è basato sul funzionamento del ciclone. Il ciclone è un dispositivo atto a separare le particelle contenute in un fluido per effetto della forza centrifuga. Sotto l'azione di tale forza le particelle con diametro aerodinamico maggiore urtano le pareti interne del selettore, accumulandosi sul fondo dello strumento da dove verranno rimosse; le particelle corrispondenti alla frazione respirabile, al contrario delle precedenti, seguendo il flusso d'aria, vengono trasportate e raccolte dal secondo stadio, la membrana filtrante. Sarà la velocità impostata a selezionare il diametro e la dimensione delle particelle da trattenere sul filtro.

I cicloni devono essere trattati con estrema cura sia nella fase di montaggio e smontaggio, sia in quella di pulizia tra un campionamento e l'altro. Prima del campionamento è bene assicurarsi che tutte le parti siano correttamente montate e serrate (effettuando un buon serraggio ma non un bloccaggio esasperato). E', inoltre, necessario verificare lo stato d'uso delle guarnizioni, o quant'altro abbia la funzione di effettuare della tenuta. Per quanto riguarda la pulizia, occorre mantenere il selettore pulito internamente ed esternamente tramite l'utilizzo di aria compressa o lavaggio con acqua e successiva asciugatura. Infine, per un corretto campionamento, è necessario che la polvere depositata sul filtro raggiunga uno strato sufficiente per poterne effettuare la valutazione, ma che, allo stesso tempo, non vi sia una sovrapposizione di strati di polvere tali da inficiare il prelievo stesso.

Ai fini del prelievo della frazione respirabile, è necessario impiegare un dispositivo che permetta di prelevare tale frazione secondo i criteri definiti dalla norma UNI EN 481 e che soddisfi i requisiti generali della norma UNI EN 482.

Sono disponibili in commercio diversi tipi di cicloni tra cui ricordiamo:

- Dorr-Oliver
- SKC in plastica conduttiva: Casella, Dewell-Higgins
- GK 2.69
- Alluminio SKC
- GS 3
- IOM SKC
- CIP 10
- Impattore a cascata SIOUTAS
- Campionatore in Automatico.

Il ciclone SKC Casella in plastica conduttiva, consente di campionare le particelle per la frazione respirabile con la possibilità di differenziarle con taglio 4 o 5 μm . Il ciclone è dotato di un clip per il posizionamento sull'operatore. Sfrutta un sistema di campionamento a cassetta removibile. Le cassette sono dei supporti per contenere le membrane durante il campionamento e per facilitarne il trasporto dopo; generalmente hanno diametri di 25 o 37 mm.

All'interno della cassetta il filtro viene appoggiato su una superficie omogenea grigliata, per sfruttare in modo uniforme la superficie filtrante. L'efficienza di campionamento di un frazionatore a ciclone, può essere influenzata da energia elettrostatica. Per ovviare a tale problema è costruito interamente con materiali conduttivi. Per ottenere un taglio particellare di 4 μm si utilizza un flusso di 2,2 litri per minuto. A causa dei molteplici componenti del selettore può risultare un po' difficoltosa la pulizia degli stessi.



Foto 1 ciclone Casella SKC con diametri da 25 e 37 mm.

Il ciclone per la frazione respirabile Dorr-Oliver si distingue per la sua camera di frazionamento da 10 mm. Generalmente è disponibile in nylon, tale materiale presenta delle problematiche dovute alle cariche elettrostatiche che possono influenzare il campionamento. Attualmente è disponibile una versione aggiornata interamente in plastica conduttiva (ciclone GS-1 Dorr-Oliver). Il ciclone dispone di un ingresso per il campione situato su di un lato. Per questo motivo, va prestata molta cura durante il montaggio evitando di ostruire tale ingresso con un errato posizionamento che può influenzare negativamente l'efficienza del campionamento. L'efficienza può essere

anche influenzata dalla velocità dell'aria. Il flusso di aspirazione del ciclone per ottenere una dimensione di taglio a $3,5 \mu\text{m}$ deve essere di 1,7 litri al minuto.



Foto 2 ciclone Dorr-Oliver.

Di recente introduzione è il ciclone Dorr-Oliver GS-3 che propone tre ingressi alla camera disposti su 180° . Rispetto al sistema ad unico ingresso, le tre vie sembrano eliminare l'influenza della velocità dell'aria e del tipo di orientamento in presenza di correnti monodirezionali. Opera ad una portata di 2,75 litri al minuto (per il taglio da $4 \mu\text{m}$), questo consente di prelevare una maggiore quantità di polvere a parità di tempo di campionamento.

Il ciclone per polveri respirabili SKC Higgins-Dowell, molto popolare in gran Bretagna, per un taglio a $4 \mu\text{m}$ richiede un flusso di aspirazione di 2,2 litri al minuto. Anche questo ciclone è fabbricato in materiale plastico conduttivo, dispone di una cassetta portafiltro interna facilmente maneggiabile e a differenza del ciclone Dorr-Oliver dispone di un ingresso dell'aria di tipo omnidirezionale, orientato verso il basso.

Problema principale di questo ciclone, in caso di elevata presenza di polvere, è la tendenza a concentrare troppo il campione nella parte centrale della membrana filtrante, non sfruttando tutta la superficie del filtro.

Il ciclone denominato GK 2.69 ha fornito prestazioni di notevole interesse, anche se il suo utilizzo a livello nazionale è ancora limitato. Consente di campionare le particelle per la frazione respirabile con un taglio di $4 \mu\text{m}$ alla portata di 4,2 litri al minuto. Il suo flusso elevato, rispetto agli altri selettori, garantisce un buon volume

totale di campione riuscendo a fornire dati riproducibili anche alle più basse concentrazioni. Tale efficienza impone l'utilizzo di pompe in grado di garantire un così elevato flusso di aspirazione, e quindi caratterizzate da un maggior peso e più ingombranti. La caratteristica di tale ciclone è quella di avere una doppia possibilità di utilizzo: modificando il flusso di aspirazione ad 1,6 litri al minuto si ottiene il taglio delle particelle per la frazione toracica (PM_{10}). Il materiale di costruzione è alluminio, quindi non influenzabile da cariche elettrostatiche. A differenza di altri modelli, può lavorare solo con cassette porta membrana del diametro di 37 mm.



Foto 3 ciclone GK 2.69

Il nuovo ciclone in alluminio SKC offre la possibilità di campionare e selezionare frazioni respirabili con un taglio di 4 e 5 μm a seconda di come viene impostato il flusso. Lavorando ad 1,9 litri per minuto si ottiene un taglio particellare di 5 μm ; mentre posizionando il flusso di aspirazione a 2,7 litri per minuto si ottiene un taglio a 3,5 μm . Il materiale in lega leggera di alluminio evita tutte le problematiche legate alle cariche elettrostatiche, associate con i cicloni costruiti in nylon. E' disponibile in diametro di 25 e 37 mm.



Foto 4 ciclone Alluminio SKC.

Il campionatore IOM, nel caso del prelievo della frazione inalabile, è in plastica conduttiva ed utilizza ed utilizza membrane dal diametro di 25 mm. Le maggiori dimensioni dell'apertura d'ingresso dello IOM, diversamente da altri campionatori, consentirebbero l'ingresso delle particelle di grandi dimensioni, come quelle delle polveri di legno, che possono avere un'azione patogena a carico dei seni nasali.



Foto 5 IOM.

Altri sistemi di campionamento per il prelievo della frazione inalabile, toracica e respirabile comprendono il campionatore tedesco GSP (o CIS), quello statunitense Button e il francese CIP-10.

Quest'ultimo lavora ad una portata di 10 litri al minuto e l'analisi qualitativa della polvere può essere effettuata dopo la distruzione del filtro (in spugna). Il filtro viene distrutto e la polvere ridepositata ad umido su un'altra membrana che viene utilizzata per l'analisi.



Foto 6 campionatore CIP-10.

Per avere informazioni sulla distribuzione dimensionale delle particelle di aerosol sono stati sviluppati dei campionatori personali in grado di fornire la distribuzione delle sottofrazioni di un aerosol utilizzando un solo prelievo di aria.

Questo tipo di campionatori sono gli impattori a cascata di cui i più usati sono il Marple ed il Sioutas. Il primo opera ad un flusso di 2 litri al minuto e può avere diversi stadi di impatto. Invece, il Sioutas opera ad un flusso di 9 litri al minuto ed ha quattro stadi di impatto, ed è in grado di raccogliere particelle negli intervalli compresi tra 2,5 e 0,25 μm . Infine, per completezza di informazione, ricordiamo il RespiconTM che è un impattore virtuale multistadio in grado di campionare contemporaneamente le tre frazioni inalabile, toracica e respirabile; inoltre si può usare come campionatore personale o stazionario ed i campioni prelevati si possono usare per analisi gravimetriche, microscopiche e chimiche. In ultimo nominiamo il campionatore di polvere respirabile in automatico. Tale campionatore utilizza il metodo dello scattering cioè la dispersione dei raggi luminosi. Il modello Dust/trak (nella foto) ha installato un ciclone Dorr-Oliver in PVC per la frazione respirabile.



Foto 7 impattore a cascata Sioutas.



Foto 8 campionatore in automatico DUST/TRAK.

I campionatori personali per poter aspirare aria devono essere collegati ad una pompa tramite un tubo in PVC. Tali pompe devono avere delle caratteristiche particolari, indicate nella norma UNI EN 1232 del 1999. Tra l'altro devono avere:

- una massa complessiva di circa 1 kg;
- un motore elettrico alimentato da batteria in grado di funzionare continuamente per almeno otto ore;

- un sistema per la regolazione della portata che possa essere azionato solo con l'aiuto di un dispositivo (per esempio un cacciavite) in modo che sia impedita una involontaria variazione della portata durante l'impiego;
- un indicatore di malfunzionamento, il quale al termine del campionamento indichi l'interruzione del flusso d'aria. [17]

2. 2 I FILTRI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

La filtrazione è la tecnica più largamente utilizzata per il campionamento degli aerosol, in primo luogo per il suo basso costo e per la sua semplicità. Essa consiste nel passaggio di un campione d'aria ambiente attraverso un corpo filtrante, appunto, e la conseguente cattura della polvere sul filtro e la sua successiva analisi. Mezzi filtranti di vario tipo e con diverse proprietà sono stati progettati e costruiti per soddisfare i requisiti del campionamento dell'aria. Esistono diversi tipi di filtri, in base alle loro caratteristiche abbiamo: filtri in fibra, a micropori, a membrana perforata, in PVC (polivinil cloruro) e a letto granulare. La scelta di un tipo di filtro per un determinato monitoraggio, può dipendere da diversi fattori. Tra i più importanti ci sono: l'efficienza di cattura delle particelle, tollerabile resistenza al passaggio dell'aria, compatibilità con il metodo da impiegare per lo studio dell'aerosol raccolto sul filtro ed infine i costi. Per esempio, per la determinazione della silice libera cristallina, che comporta sia l'analisi gravimetrica che la diffrattometrica, rivestono particolare importanza i filtri del tipo a membrana porosa.

L'analisi gravimetrica dei filtri è fortemente influenzata dagli effetti dell'umidità e della carica elettrostatica sul materiale di cui è costituito il filtro. Gli effetti dell'umidità derivano dall'assorbimento del vapore d'acqua da parte del materiale del filtro e dalla igroscopicità delle particelle campionate. I filtri cellulosici sono i più sensibili all'assorbimento dell'umidità, mentre lo sono molto meno i filtri realizzati in argento metallico ed alcuni tipi di filtri in PVC.

I filtri a membrana maggiormente utilizzati sono quelli in nitrato o esteri di cellulosa (NC), con diametro di 25 mm e porosità di 0,8 μm , in quanto consentono di effettuare campionamenti ambientali di medio-lunga durata. Sono però fortemente igroscopici pertanto vanno pesati in condizioni ambientali idonee. Inoltre non possono essere eseguiti campionamenti a temperature superiori a 80-100° C perché ciò provocherebbe l'atrofia dei pori.

I filtri in fibra, ottenuti per intreccio di fibre di diversa natura e dimensioni, maggiormente utilizzati sono quelli in argento (Ag) con porosità di 0,8 μm che consentono di effettuare campionamenti ambientali di media-lunga durata. Sono

scarsamente igroscopici, pertanto facilitano le operazioni di pesatura. Hanno però un costo particolarmente elevato. I filtri in polivinil cloruro (PVC) non sono particolarmente igroscopici, ma sono caratterizzati dalla presenza di cariche elettrostatiche quindi vanno pesati in condizioni ambientali idonee. Questi tre tipi di filtro, Ag, PVC, e NC, sono quelli più idonei all'utilizzo del prelievo del particolato aerodisperso; esistono infatti in commercio altri tipi di filtri come per esempio le membrane in fibra di vetro (poco sensibili alle interferenze da cariche elettrostatiche, ma fragili) e filtri in teflon (con costi particolarmente elevati) ecc.

Per quanto riguarda le tipologie di membrane filtranti da utilizzare ci sono dei riferimenti nella norma ISO 15767 del 2000.

I meccanismi di filtrazione sono diversi e la loro efficienza dipende dal tipo di filtro, dalla velocità di filtrazione e dalla composizione granulometria della polvere campionata.

La deposizione può avvenire:

- per impatto: il flusso d'aria entra nei pori del filtro e subisce una deviazione così che le particelle si separano depositandosi sugli spazi pieni;
- per diffusione Browniana: è tipica di particelle di ridotte dimensioni che penetrano nei capillari del filtro in modo tanto maggiore quanto minore sono il diametro e la velocità di filtrazione;
- per intercettazione: la particella va a ricoprire il poro oppure viene intercettata sui suoi bordi;
- per via elettrostatica: il filtro, attraversato dal flusso di aria, si carica elettricamente e attrae le particelle di segno opposto, respingendo quelle di segno uguale che però acquistano una energia cinetica tale che permette loro di aderire al filtro,
- per adesione: è dovuta alle forze di Van der Waals che si producono dopo che le particelle si sono depositate sul filtro. [18]

2.3 ANALISI QUALITATIVA DELLA POLVERE: DIFFRATTOMETRIA A RAGGI X

L'analisi della determinazione dei costituenti le polveri raccolte può avvenire o tramite il trattamento della membrana oppure direttamente sul filtro di campionamento.

Questo metodo diretto prevede dei tempi più brevi per l'analisi, ed è possibile grazie a particolari tipi di macchinari. Attualmente le tecniche più idonee per la determinazione della silice libera cristallina sono la diffrazione a raggi X (DRX) e la spettroscopia infrarossa. Per entrambe le tecniche esistono metodi standard elaborati da organismi internazionali (come per esempio il National Institute for Occupational Safety and Health NIOSH, e l'Occupational Safety and Health Administration OSHA).

In passato la determinazione della silice avveniva principalmente attraverso il metodo della microscopia ottica in contrasto di fase.

Il principio fisico su cui si basa la diffrazione a raggi X ad opera delle sostanze cristalline. Infatti i cristalli sono costituiti dalla ripetizione spaziale di piani cristallografici le cui distanze interplanari sono dello stesso ordine di grandezza della lunghezza d'onda dei raggi X (cioè dell'ordine degli Angstrom, $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$). In pratica una radiazione X, penetrando in un cristallo, incontra le particelle costituenti il reticolo e viene riflessa in funzione dell'angolo di incidenza θ [6]. La riflessione dei raggi X è regolata dalla legge di Bragg.

Nota la lunghezza d'onda della radiazione incidente, con la legge di Bragg si ricavano i valori delle distanze reticolari del materiale cristallino analizzato. [17]

Lo spettro di diffrazione di un cristallo è una proprietà fisica fondamentale di una sostanza, utile non solo per una sua rapida identificazione ma anche per una completa interpretazione della sua struttura. Per esempio il quarzo riflette all'angolo di $26,65^\circ$, la cristobalite a $21,90^\circ$, la tridimite a $20,79^\circ$.

Il principio base dell'analisi con DRX è la proporzionalità tra l'intensità dei raggi X diffratti e la quantità della fase cristallina da determinare. La concentrazione viene valutata tracciando curve di taratura, costruite seguendo metodi standardizzati per la preparazione dei campioni di riferimento a concentrazione nota. Si riproduce un'atmosfera contaminata nota e vengono effettuati dei campionamenti con flusso di prelievo,lettore e membrana uguali a quelli che si utilizzeranno per i campioni incogniti. Quindi saranno necessarie tante curve di taratura quante sono le possibili

modalità operative di prelievo dei campioni incogniti. Si deduce che nella costruzione delle curve di taratura è preferibile adottare standard di cui sia nota e certificata la purezza, la granulometria e la cristallinità. [17]

La quantità di polvere ha un effetto non trascurabile sul risultato analitico della DRX. Il filtro impolverato viene posto su un apposito portafiltro e poi irradiato nello strumento programmato. La quantità di polvere sul filtro non deve essere eccessiva, perché questo può dar luogo al fenomeno noto come “effetto strato” che andrebbe poi corretto, né eccessivamente bassa perché ciò comporterebbe degli errori nella valutazione delle concentrazioni.

I componenti di base di un diffrattometro a raggi X sono:

- sorgente di raggi X;
- fenditure per collimare i raggi X;
- portacampione;
- rilevatore e contatore.



Foto 9 diffrattometro del laboratorio di Igiene Industriale.

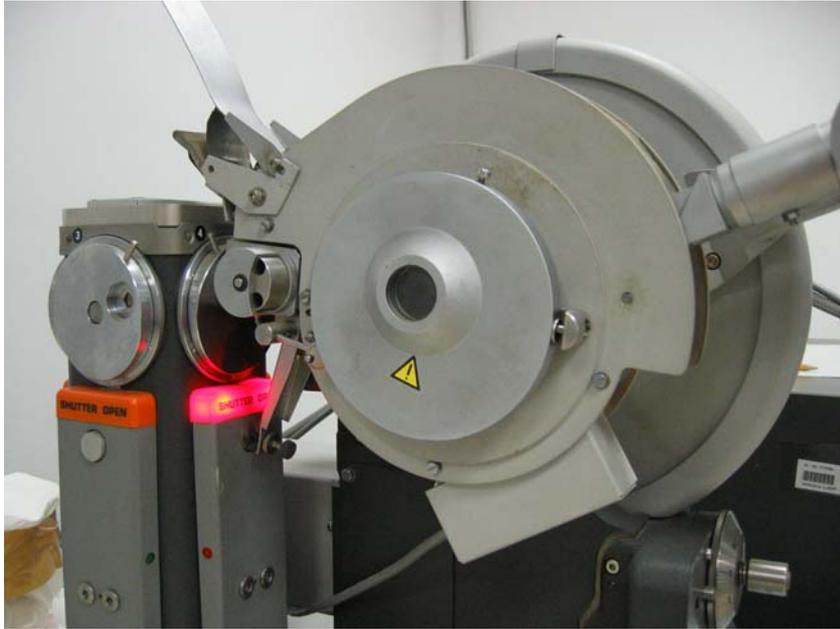


Foto 10 particolare del diffrattometro (goniometro e portacampione).



Foto 11 posizionamento del filtro nel diffrattometro.



Foto 12 portacampione posto nel diffrattometro.



Foto 13 slitta portacampione.



Foto 14 rilevatore e contatore (PW 1710).

La diffrazione di raggi X da polvere è divenuta la tecnica sperimentale principe per la caratterizzazione strutturale e microstrutturale dei materiali. La tecnica trova, infatti, applicazione in diversi campi: chimico-fisico, geologico-mineralogico, farmacologico, ecc.

3 IL RUMORE

3. 1 DEFINIZIONE

Il nostro orecchio è continuamente sollecitato dai suoni del mondo che ci circonda.

Alcuni suoni possono risultare piacevoli, altri fastidiosi. Suoni più o meno forti ci accompagnano, ci rassicurano, ci innervosiscono, ci mettono in allarme o ci possono provocare un danno. Il suono è una perturbazione meccanica che si propaga in un mezzo elastico (gas, liquido, solido) come onde e che è in grado di stimolare il senso dell'udito. Ad esempio un corpo che vibra, una macchina o la voce umana, provoca oscillazioni della pressione che si propagano nell'aria come onde e giungendo al nostro orecchio producono la sensazione sonora. Pertanto per avere un suono dobbiamo avere una sorgente, il corpo che vibra, un mezzo di propagazione, l'aria, ed un ricevitore, l'orecchio umano. Comunemente, si intende per rumore un suono indesiderato, che provoca una sensazione sgradevole, fastidiosa o intollerabile.

A seconda della frequenza (numero di oscillazioni al secondo) si parla di altezza del suono, che viene distinto in suoni gravi ed acuti. Mentre l'intensità della sensazione uditiva indica l'effetto prodotto dall'onda sonora sul timpano. Tale effetto può variare nei diversi individui, per esempio in dipendenza del fatto che una persona può, o no, soffrire di ipoacusia. L'orecchio umano è in grado di percepire i suoni in un intervallo di frequenze compreso tra i 20 Hz ed i 16000 Hz, circa, (l'Hz rappresenta l'unità di misura della frequenza, $1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo} / 1 \text{ secondo}$). Inoltre, l'orecchio umano mostra una sensibilità differente alle diverse frequenze.

L'intensità del suono si misura in decibel (dB). La scala dei decibel è logaritmica: un aumento del livello sonoro pari a tre decibel rappresenta un raddoppio dell'intensità del rumore. I valori estremi dell'intensità della sensazione uditiva sono definiti soglia di udibilità e soglia del dolore. La prima è una mancata percezione del suono al di sotto di una certa intensità, la seconda corrisponde invece ad un aumento della sensazione uditiva sempre più fastidiosa fino a diventare appunto dolore. Di seguito sono riportati i valori compresi tra queste due soglie espressi in decibel:

- > 130 dB soglia del dolore
- 120 dB concert rock

- 110 dB martello pneumatico
- 100 dB clacson
- 90 dB autocarro
- 80 dB traffico urbano
- 70 dB conversazione
- 60 dB ufficio
- 50 dB temporale
- 40 dB biblioteca
- 30 dB voce sussurrata
- 20 dB bosco
- 10 dB deserto
- 0 –5 dB soglia di udibilità.

Due grandezze che caratterizzano il suono in maniera basilare sono: la pressione sonora e la potenza sonora. La prima permette di esprimere le successive pressioni istantanee del mezzo di propagazione del suono, dovute alla presenza dell'onda sonora, con un unico valore. Tale parametro si misura in pascal, Pa ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$).

La potenza sonora di una sorgente, invece, è l'energia sonora (E_s) sviluppata dalla sorgente stessa nell'unità di tempo. La sua unità di misura è il watt (W). Essa è collegata all'intensità energetica, che è la quantità di energia sonora che attraversa, ad ogni secondo, una superficie unitaria (W/m^2). [8]

Generalmente queste grandezze vengono espresse come livelli in dB. Il livello indica un rapporto logaritmico tra due quantità, di cui una è quella del valore del parametro preso in considerazione, mentre l'altra è una quantità di riferimento stabilita secondo una convenzione internazionale. Il decibel è pari a dieci volte il logaritmo di questo rapporto. Abbiamo così il livello di potenza sonora, indicato con L_W , il livello di pressione sonora, L_P , ed il livello di intensità sonora, L_i .

Nel valutare gli effetti del rumore sull'uomo occorre considerare l'andamento delle curve isofoniche, curve che rappresentano uno stesso livello di sensazione sonora, in funzione del livello sonoro del rumore stesso. Nelle operazioni di misura si effettua perciò una ponderazione in relazione alla frequenza con una legge di variazione corrispondente alla isofonica del livello prossimo a quello del rumore in esame. Più precisamente esiste una normativa internazionale che stabilisce quattro curve di ponderazione denominate "A", "B", "C" e "D". Tali curve approssimano,

rispettivamente le isofoniche a 40, 70 e 100 phon. La curva di ponderazione più usata per mettere in relazione i livelli sonori con i danni provocati all'apparato uditivo è quella "A". Infatti le indagini epidemiologiche hanno dimostrato una buona correlazione fra il livello di pressione sonora ponderato "A" e danni uditivi conseguenti ad esposizioni prolungate a rumori di livello elevato. La curva "A" è, infatti, quella che enfatizza maggiormente le componenti acustiche comprese tra i 1.000 e gli 8.000 Hz, banda di frequenza nella quale le osservazioni epidemiologiche dimostrano il maggiore danno da esposizione a rumore. Per indicare che la misura è effettuata con un filtro rispondente alla curva di ponderazione "A" si usa scrivere entro parentesi la lettera A vicino al simbolo del decibel (dB(A)).

La curva "D" è relativa a rumori aventi livelli di pressione sonora molto elevati, quali sono ad esempio quelli provocati da aerei. [8]

3. 2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI E NORMATIVI

Per quanto riguarda il nostro paese, non c'erano leggi da rispettare relativamente all'impatto del rumore nei luoghi di lavoro, prima dell'entrata in vigore del D. Lgs. 277 del 1991, ad eccezione dell'articolo 24 del D.P.R. 303 del '56. Attualmente (da dicembre 2006) è entrato in vigore il nuovo D. Lgs. 195/06, che dà attuazione alla Direttiva 2003/10/CE relativa all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore). L'articolo 5 ha abrogato il Capo IV (protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro) del D. Lgs. 277/91 e l'art. 24 del D.P.R. 303/56. Tale decreto introduce delle notevoli novità rispetto al D. Lgs. 277/91.

Il D. Lgs. 195/06 si compone di sette articoli che in sostanza si aggiungono al D. Lgs. 626/94, introducendo un nuovo Titolo V-bis. In particolare sono stati introdotti gli articoli tra il 49 ed il 50, cioè dal 49-bis al 49-duedecies.

L'art. 1 stabilisce il cambiamento del titolo del D. Lgs. 626/94 con: "Attuazione delle Direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 93/88/CEE, 95/63/CE, 97/42/CE, 98/24/CE, 99/38/CE, 99/92/CE, 2001/45/CE e 2003/10/CE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro".

L'art. 2 introduce il Titolo V-bis nel D. Lgs. 626/94. Questa è la parte più importante di tale decreto.

L'art. 49-bis riguarda il campo di applicazione "Protezione da agenti fisici - Capo I - Disposizioni Generali – Campo di applicazione". La differenza, che subito si nota, con il D. Lgs. 277/91 è nella mancanza di esclusione dei lavoratori nei settori della navigazione aerea e marittima e della musica. Anche se in questi settori il decreto legislativo entrerà in vigore, rispettivamente, il 15/02/2011 ed il 15/02/2008. Altra differenza che si può notare con il D. Lgs. 277/91, è che in questo caso si viene a porre un maggiore accento sulla necessità di tutelare i lavoratori contro tutti i possibili danni causati dal rumore, pur dedicando un'attenzione particolare a quelli sull'apparato uditivo. Ne consegue che il medico competente dovrà prendere in considerazione gli effetti extra-uditivi [19]

Nell'art. 49-ter troviamo le definizioni di: pressione acustica di picco, livello di esposizione giornaliera al rumore $L_{EX,8h}$, livello di esposizione settimanale al rumore

$L_{EX,8h}$. Il livello di esposizione giornaliero si riferisce a tutti i rumori incluso quello impulsivo.

Rispetto al D. Lgs. 277/91, con questo articolo si introduce la novità della curva di ponderazione normalizzata “C” (si utilizzava la curva di ponderazione “Lin” dei normali fonometri integratori). Mentre per quanto riguarda la definizione di livello di esposizione giornaliero al rumore e del livello di esposizione settimanale al rumore viene fatto riferimento allo standard ISO 1999: 1990, ma in realtà non ci sono differenze sostanziali rispetto agli indicatori ($L_{Ep,d}$ e $L_{EP,w}$) definiti dalla direttiva 86/188/CEE e ripresi dal D. Lgs. 277/91 [16].

L’art. 49-quater stabilisce i nuovi valori limite di esposizione ($L_{EX,8h} = 87$ dB (A) e $p_{peak} 140$ dB (C)), i valori superiori di azione ($L_{EX,8h} = 85$ dB (A) e $p_{peak} 137$ dB (C)) ed i valori inferiori di azione ($L_{EX,8h} = 80$ dB (A) e $p_{peak} 135$ dB (C)). Per tanto rispetto al valore di $L_{Ep,d} 90$ dB (A) di esposizione del D. Lgs. 277/91, c’è una riduzione di 3 dB, che corrispondono ad un dimezzamento dell’intensità sonora.

L’art. 49-quinquies riguarda la valutazione del rischio, gli obblighi del datore di lavoro, i metodi e le apparecchiature da utilizzare. Con questo articolo è evidente il “distacco”, per così dire, dal D. Lgs. 277/91. Infatti all’allegato VI, ora abrogato, erano riportate tutte le indicazioni tecniche per la misurazione del rumore: dai metodi alla strumentazione. L’allegato stabiliva che le misurazioni dovevano essere effettuate con strumenti di gruppo 1 IEC 651/79 (per i misuratori di livello sonoro) o IEC 804/85 (per i fonometri integratori mediatori) recepiti in Italia come norma CEI EN 60651/82 e CEI EN 60804/99. Inoltre l’allegato VII, riguardava le indicazioni tecniche e metodologiche per la misurazione della funzione uditiva dei lavoratori esposti al rumore. Inoltre il D. Lgs. 277/91 stabiliva l’obbligo di taratura annuale dei fonometri nei centri nazionali riconosciuti SIT (Servizio Italiano di Taratura). Il nuovo D. Lgs. 195/06, invece, risolve il problema del metodo e della strumentazione con il rinvio “alle norme di buona tecnica”, senza meglio specificare. Tale decreto inserisce la valutazione del rischio ogni quattro anni salvo il caso di “notevoli mutamenti”. Inoltre, come già nel precedente decreto, non si è ben definita la figura del “personale adeguatamente qualificato”.

L’art. 49-sexies riguarda le misure di protezione e prevenzione che il datore di lavoro deve adottare per eliminare o ridurre al minimo i rischi e comunque far si che non superino i valori limite di esposizione. E’ prevista inoltre la limitazione delle aree in cui viene superato il valore superiore di azione di 85 dB (A). La limitazione con il D. Lgs. 277/91 scattava a 90 dB (A).

L'art. 49-septies riguarda l'uso dei dispositivi di protezione individuale. Conformemente ai principi del D. Lgs. 626/94 il DPI è l'ultima misura messa in atto dopo tutte le altre possibili. Il D. Lgs. 195/06, in questo articolo, prevede che i DPI vengano messi a disposizione dei lavoratori nel caso in cui "l'esposizione al rumore superi i valori inferiori di azione (80 dB (A))" e vengano indossati nel caso in cui "l'esposizione al rumore sia pari o al disopra dei valori superiori di azione (85 dB (A))". Questo articolo prevede, rispetto al D. Lgs. 277/91, una riduzione di 5 dB nella fornitura ed utilizzo dei DPI (infatti era prevista la fornitura a 85 dB ed il loro uso a 90 dB). L'articolo, inoltre, ha aperto alcune diverse interpretazioni relativamente al fatto che il datore di lavoro deve "verificare l'efficacia dei DPI" e deve tener "...conto dell'attenuazione prodotta dai DPI dell'udito indossati dal lavoratore". Secondo alcuni addetti ai lavori i valori limite di esposizione si intendono definiti a dispositivi di protezione indossati; in più si dovrebbe accettare che i valori di attenuazione dei DPI uditivi ottenuti in laboratorio siano gli stessi che i DPI forniscono nell'ambiente di lavoro, mentre in letteratura è dimostrato che la protezione acustica nelle condizioni di reale utilizzo è molto più bassa [16]. Neanche la direttiva 2003/10/CE ribadisce l'obbligo della fornitura (da parte del fabbricante) e della acquisizione (da parte del datore di lavoro) di indicazioni minime sulle caratteristiche di attenuazione del rumore dei singoli DPI e sulle istruzioni e/o limitazioni d'uso.

L'art.49-octies riguarda le misure per la limitazione, immediate ed efficace, dell'esposizione da parte del datore di lavoro nel caso in cui "si individuano esposizioni superiori a detti valori".

L'art. 49-nonies riguarda la formazione e l'informazione dei lavoratori. L'art. 49-decies riguarda la sorveglianza sanitaria. L'art. 49-undecies riguarda le deroghe all'uso dei DPI da parte di determinati lavoratori.

L'art. 49-duodecies riguarda, infine, le linee guida per "l'applicazione del presente capo nei settori della musica e delle attività ricreative".

Il D. Lgs. 195/06 si chiude con gli articoli riguardanti le sanzioni (art. 3), le clausole di cedevolezza (art. 4), le abrogazioni (art. 5) l'invarianza degli oneri (art. 6) ed infine l'entrata in vigore (art. 7).

Nella tabella 1 sono riportate le principali differenze tra il D. Lgs. 195/06 ed il D. Lgs. 277/91 [16].

limitazione al minimo dei lavoratori esposti; misure di protezione collettiva; misure di emergenza; informazione e formazione completa dei lavoratori; etc.

Nell'articolo 5 sono riportati gli obblighi dei datori di lavoro, dei dirigenti e dei preposti, i quali sono tenuti, tra l'altro, ad informare i lavoratori dei rischi specifici dovuti all'esposizione all'agente e delle misure preventive adottate.

Mentre nell'articolo 6 sono riportati gli obblighi dei lavoratori che, a loro volta, sono tenuti ad osservare le disposizioni del datore di lavoro, ad usare in modo appropriato i dispositivi di sicurezza ed i mezzi di protezione, a segnalare le deficienze di tali dispositivi ed ogni altra eventuale condizione di pericolo, a non modificare o rimuovere i dispositivi di sicurezza e di protezione, a sottoporsi ai controlli sanitari.

Il capo II e III riguardano la protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall'esposizione, rispettivamente, al piombo e all'amianto.

Il capo IV riguarda specificamente la "protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro". Non viene definito un valore limite di esposizione ma vari livelli (L_{EP} 80, 85, 90 dB(A)) al superamento dei quali le varie figure coinvolte devono adottare adeguati provvedimenti di tutela.

L'articolo 39 riporta le definizioni dei termini: esposizione quotidiana personale di un lavoratore al rumore ($L_{EP,d}$); esposizione settimanale professionale di un lavoratore al rumore ($L_{EP,w}$). Vengono inoltre riportate le formule per la loro determinazione.

L'articolo 40 obbliga il datore di lavoro a procedere alla valutazione del rumore durante il lavoro, al fine di identificare l'esposizione quotidiana personale e settimanale.

La valutazione, effettuata da personale competente sotto la responsabilità del datore di lavoro, deve essere nuovamente eseguita ogni qualvolta vi è un mutamento nel ciclo lavorativo che può influire sul rumore prodotto. Il datore di lavoro deve tenere un rapporto indicante criteri e modalità di effettuazione della valutazione.

L'articolo 41 obbliga il datore di lavoro a ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione al rumore mediante misure tecniche, organizzative e procedurali. Se l'esposizione quotidiana personale supera i 90 dB(A) o si verificano pressioni acustiche istantanee, non ponderate, superiori a 140 dB, deve essere esposta una segnaletica appropriata e gli stessi luoghi devono essere "perimetrali e soggetti ad una limitazione di accesso".

L'articolo 42 obbliga i datori di lavoro in aziende in cui il $L_{EP,d}$ supera 80 dB(A) ad informare i lavoratori sui rischi e le precauzioni da adottare contro il rumore; se il $L_{EP,d}$ supera 85 dB(A) ai lavoratori deve inoltre essere fornita un'adeguata formazione

sull'uso corretto dei mezzi di protezione individuale e di utensili, macchine ed apparecchiature rumorose.

Secondo l'articolo 43 il datore di lavoro deve fornire a tutti i lavoratori esposti a $L_{EP,d}$ superiore ad 85 dB(A) mezzi individuali di protezione, che devono essere "adattati al singolo lavoratore", l'uso di tali mezzi diventa obbligatorio se $L_{EP,d}$ supera i 90 dB(A).

L'articolo 44 è relativo al controllo sanitario dei lavoratori: è facoltativo, se l'esposizione quotidiana personale è compresa tra 80 e 85 dB(A), mentre è obbligatorio se si superano 85 dB(A): in tal caso il lavoratore è sottoposto ad una visita medica preventiva e a successive visite periodiche ad intervalli di tempo non superiori ai due anni (o ad un anno se $L_{EP,d}$ supera i 90 dB(A)).

L'articolo 45 impone al datore di lavoro la comunicazione all'organo di vigilanza dell'eventuale superamento dei 90 dB(A) di $L_{EP,d}$ o dei 140 dB di pressione acustica istantanea.

L'articolo 46 prescrive criteri di scelta, per il datore di lavoro, al momento dell'acquisto di nuovi utensili o apparecchiature. Sono da scegliere quelli che producono il più basso livello di rumore.

Gli articoli 47 e 48 prevedono deroghe all'applicazione dei mezzi di protezione individuali.

L'articolo 49 impone la registrazione e l'aggiornamento, su appositi registri, tenuti dal datore di lavoro, dei livelli di esposizione e delle cartelle sanitarie degli esposti.

Infine il capo V riporta le "norme penali" ed il capo VI le "disposizioni transitorie e finali".

3.3 STRUMENTI DI MISURA DEL RUMORE

Per la valutazione dell'esposizione al rumore dei lavoratori devono essere effettuate misurazioni con strumenti di gruppo 1 IEC 651/79 o IEC 804/85 (CEI EN 60651/82 e CEI EN 60804/99). Se si eseguono analisi in frequenza la strumentazione deve essere conforme anche alla classe 1 della IEC 1260/95 (CEI EN 61260/97). I fonometri indossabili (conformi alle IEC 651/79, IEC 804/85 e IEC 1252/93 classe 1) sono ammessi a patto che il microfono non sia posto sul corpo della persona, ma a dieci centimetri dall'orecchio più esposto (ad esempio con l'ausilio di un archetto). I fonometri da utilizzare per le misure in ambienti di lavoro devono avere come caratteristiche minime, oltre ad essere in classe 1, la possibilità di acquisire il livello equivalente ed il picco.

Tutti gli apparecchi di misura del suono, benché provvisti di calibrazione elettrica interna, devono essere sottoposti a calibrazione acustica prima di ogni ciclo di rilevazione. Il calibratore è un dispositivo funzionante come sorgente sonora ad una determinata frequenza e con un preciso livello di pressione sonora. Inviando questo segnale acustico al microfono, il fonometro deve misurare quel dato livello di pressione sonora: eventuali scostamenti del valore esatto devono essere corretti con procedure indicate dal costruttore dello strumento [9]. Gli strumenti di misura e di calibrazione devono essere tarati annualmente presso uno dei centri accreditati al STN (Sistema Nazionale di Taratura).

Primo elemento di qualsiasi catena di misura è il microfono: dispositivo trasduttore di variazione di pressione sonora in variazioni di segnale elettrico.

Il fonometro è lo strumento di misura più utilizzato in acustica, esso è un misuratore di livello sonoro. E' composto dai seguenti elementi: il microfono, il preamplificatore, l'amplificatore, le reti di ponderazione in frequenza (A, B, C e D), circuito di rilevazione del valore efficace (RMS) con costanti di tempo "slow", "fast" e "impulse", strumento indicatore (display) e uscite elettriche per il collegamento ad altri strumenti.

Il preamplificatore è un dispositivo che consente di adattare l'alta impedenza di uscita del microfono a quella di ingresso del circuito successivo; all'uscita del preamplificatore possono essere collegati cavi anche molto lunghi. Segue l'amplificatore, che può svolgere anche funzioni di attenuazione essendo provvisto di un attenuatore tarato con il quale si può scegliere il valore di fondo scala più adatto a

seconda dell'intensità del rumore da misurare. A questo punto il segnale elettrico passa attraverso la rete di ponderazione in frequenza scelta (A, B, C, D o linear se non si desidera alcuna ponderazione) che provvede ad effettuare le giuste attenuazioni (o esaltazioni) alle diverse frequenze secondo le curve di ponderazione normalizzate. Il circuito di rivelazione del valore rms (Root Mean Square, radice quadrata della media dei quadrati; con tale sigla si indica un valore efficace) può funzionare secondo diverse costanti di tempo. Per costante di tempo si intende l'intervallo di tempo elementare su cui il segnale viene di volta in volta mediato (media quadratica): in altre parole rappresenta la velocità di risposta dello strumento alle variazioni di pressione sonora. Tali costanti sono normalizzate a livello internazionale e sono: slow (1 s), fast (125 ms), impuls (35 ms), peak (da 20 a 50 ms) (per misurare il livello di picco di pressione sonora valutando così il rumore impulsivo). Il livello misurato viene visualizzato su un apposito indicatore: i fonometri moderni sono dotati di display digitali.

Le misure aventi lo scopo di valutare la possibilità di insorgenza di danno uditivo prendono in considerazione il parametro del livello equivalente sonoro ponderato A rilevato in corrispondenza del punto di lavoro nelle reali condizioni operative degli addetti.

Il livello equivalente rappresenta l'energia meccanica media percepita dal lavoratore durante l'orario di lavoro. Il livello sonoro equivalente di un dato rumore variabile nel tempo è il livello, espresso in dB(A), di un ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale per lo stesso intervallo di tempo, comporterebbe la stessa quantità totale di energia sonora. Esso può essere calcolato con la seguente relazione:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} (p_t^2 / p_{rif}^2) dt \right]$$

Si tratta di dieci volte il logaritmo dell'integrale nell'intervallo di tempo compreso tra l'istante $t = 0$ e l'istante $t = T_0$ dei rapporti tra i quadrati delle pressioni sonore istantanee e della pressione sonora di riferimento, mediato nel tempo T_0 . Non è perciò una semplice media delle intensità istantanee di rumore (ad esempio un rumore costante di 100 dB per 4 ore più un rumore costante di 80 dB per altre 4 ore non danno un livello equivalente di 90 dB, bensì di 97 dB) [9]. Nel fonometro tale livello viene misurato direttamente.

3. 4 EFFETTI DANNOSI DEL RUMORE SULL'UOMO

Il rumore può provocare danni anche molto gravi alla nostra salute. Tale rischio dipende da diverse combinazioni di fattori tra cui: il tipo di rumore, il tempo di esposizione ed una eventuale predisposizione. L'effetto più noto del rumore nei luoghi di lavoro è la perdita dell'udito (ipoacusia). Tale perdita può essere dovuta ad un blocco meccanico nella trasmissione del suono all'orecchio interno (perdita di udito trasmissiva) o a danni, più o meno gravi fino alla morte, delle cellule ciliate della coclea, parte dell'orecchio interno (perdita di udito neurosensoriale). A più di quindici anni dall'entrata in vigore del D. Lgs. 277/91, il rumore costituisce ancora oggi la causa della malattia professionale più frequentemente denunciata all'Inail, rappresentando il 40% dei casi di tutte le malattie professionali nel nostro paese. La diffusione di tale malattia supera i problemi dermatologici e quelli respiratori.

L'ipoacusia è provocata da una prolungata esposizione a rumori intensi. Il primo sintomo è, generalmente, l'impossibilità di percepire i suoni di altezza più elevata. Ed inizialmente quasi non ci si accorge del danno che si sta subendo. Se l'esposizione al rumore prosegue, il disturbo tende a peggiorare fino a provocare difficoltà a percepire anche le tonalità più basse (per esempio la voce parlata). Il danno procurato dalla perdita dell'udito causata dal rumore è permanente. Il tinnito, percezione uditiva di tintinnio, sibilo o rimbombo, può costituire il primo segnale di una lesione a carico dell'apparato uditivo, causata dal rumore.

La perdita di udito si può verificare anche in assenza di esposizioni prolungate. Una breve esposizione a rumori impulsivi può avere effetti permanenti, inclusa la perdita di udito. Ma il rumore agisce con meccanismo complesso anche su altri organi ed apparati. E' dimostrato che l'esposizione al rumore ha un effetto nocivo sul sistema cardiovascolare. In particolare il rumore sembra produrre un aumento della pressione arteriosa, e la secrezione di catecolamine, i cui livelli nel sangue sono associati allo stress. Inoltre, livelli elevati di rumore rendono meno udibili e comprensibili ai lavoratori le parole ed i segni acustici, possono coprire il suono di pericoli in avvicinamento o di segnali di allarme (per esempio le indicazioni di inversione di marcia dei veicoli), distrarre i lavoratori e per tanto aumentare la probabilità che si verificano infortuni.

Come è noto le tabelle annesse al D.P.R. 1124/65, successivamente modificate con D.P.R. 336 del 1994, elencano le lavorazioni nelle quali in presenza di ipoacusia professionale, il rischio debba ritenersi presunto. Se la lavorazione è tabellata e se si diagnostica un'ipoacusia neurosensoriale con i caratteri tipici (curve in discesa) del trauma cronico, il danno deve essere riconosciuto, a meno che non risulti, in modo rigoroso ed inequivocabile, che sia intervenuto un fattore patogeno diverso capace da solo o in misura prevalente a generare la condizione patologica (Cassazione n. 4369 13/4/94).

Con sentenza 179/88 la Corte Costituzionale ha introdotto il cosiddetto sistema "misto" il quale tutela non soltanto le malattie contratte in lavorazioni tabellate ma anche quelle contratte in lavorazioni non elencate nelle citate leggi. Dunque l'assicurato può in ogni caso richiedere le prestazioni derivanti dall'aver contratto l'ipoacusia professionale a condizione di fornire la prova che la patologia denunciata derivi dalla reale esposizione al rischio. [7]

3. 5 DISPOSITIVI DI PROTEZIONE IDIVIDUALE DELL'UDITO

I mezzi di protezione individuale uditivi possono essere suddivisi in tre tipologie: inserti auricolari, inserti con archetto di sostegno e cuffie. Gli inserti auricolari, i cosiddetti tappi, possono essere in gomma o plastica morbida e sono in grado di abbattere l'intensità dello stimolo sonoro anche di 15-20 dB.

Le cuffie, composte da due coppe di materiale plastico rigido rivestito internamente da poliuretano espanso e bloccati da un archetto elastico di metallo o plastica, possono attenuare l'energia sonora di 20 dB.

Per la scelta dei DPI uditivi bisogna osservare i criteri riportati nella norma EN 458 (1995) (D. M. 2 maggio 2001). Comunque i principali fattori da considerare sono:

- la marcatura di certificazione;
- l'attenuazione sonora;
- la confortevolezza del portatore;
- caratteristiche dell'ambiente di lavoro e dell'attività lavorativa;
- patologie dell'orecchio;
- compatibilità con altri dispositivi di protezione.

4 CICLO PRODUTTIVO MONITORATO

4. 1 LA RACCOLTA MECCANIZZATA DELLE NOCCIOLE

La raccolta delle nocciole, a partire dagli inizi degli anni '80, viene eseguita con l'ausilio delle macchine aspiratrici, trainate o semoventi. I primi modelli erano dotati di uno o due tubi di aspirazione con sezione di diametro di 100-120 mm. Negli ultimi anni si sono moltiplicate le ricerche e gli sforzi dei costruttori per la messa a punto di alcuni prototipi di macchine raccoglitrice, che quindi hanno subito notevoli progressi tecnologici permettendo così di migliorare non soltanto la qualità del lavoro ma anche di ridurre i tempi di raccolta. Come per altri settori, però, il progresso ha portato con sé anche alcune ombre: ecco così l'inquinamento da rumore e da polveri causati dalle macchine stesse. Ancora progresso e tecnologia ci devono aiutare a superare questi nuovi problemi.

I principali metodi di raccolta si basano sull'impiego di:

1. macchine aspiratrici (trainate o semoventi);
 2. macchine raccattatrici (semoventi).
1. Le prime macchine utilizzate nella raccolta sono state le aspiratrici trainate. Queste macchine trainate sono azionate mediante la presa di potenza della trattrice, e consentono una raccolta parzialmente meccanizzata, in quanto occorrono due o tre operatori che si occupano del controllo e dell'utilizzo dei tubi di aspirazione. Il prodotto viene preventivamente andanato o raccolto in cumuli e gli operatori con i tubi aspirano il prodotto da terra. Le portate di aspirazione dipendono dalla velocità di rotazione della presa di potenza, si sono misurate portate fino a 3500 m³ ad ora [4]. Le nocciole aspirate dai tubi arrivano ad una camera di sedimentazione dove le parti più pesanti (sassi, grumi di terra), cadono per gravità sul fondo e vengono allontanate mediante una valvola di ritenuta a moto rotatorio. L'aria di aspirazione, dopo la separazione delle nocciole dalle parti più pesanti, viene inviata a dei cicloni, quando presenti, per l'abbattimento delle parti più grossolane delle polveri presenti. Il prodotto

grossolano, proveniente dalla camera di sedimentazione, subisce una pulizia delle foglie mediante una corrente d'aria generata da un ventilatore a portata regolabile mediante una serranda, quindi passa in un vaglio, per lo più rotativo, che separa le nocchie dalle componenti estranee ancora presenti. In uscita dal vaglio le nocchie confluiscono in un convogliatore pneumatico, alimentato da un ventilatore a pale radiali, che le trasporta o a delle bocchette per l'insacchettamento oppure, tramite un tubo, ad un carrello attaccato posteriormente alla macchina. [11]

2. Le macchine raccattatrici si basano sull'impiego di spazzole di varie dimensioni che a contatto con il terreno trascinano il frutto fino ad una bocchetta attraverso la quale viene raccolto il prodotto. La testata raccogliitrice è costituita da spazzole di materiale plastico che inviano le nocchie ad un nastro trasportatore posto in posizione ventrale, che le trasporta al carrello posteriore.

Nella seconda metà degli anni '80 alcune ditte costruttrici hanno installato sulle macchine aspiratrici dei cicloni per la riduzione delle polveri. I cicloni sono apparecchi semplici, senza parti meccaniche in movimento e di costo contenuto. Tuttavia la loro efficacia per la eliminazione della frazione respirabile delle polveri è assai limitata. Il rendimento di abbattimento delle polveri ottenuto è funzione di molti fattori.

L'azione di separazione delle particelle solide avviene mediante la forza centrifuga ($F_c = mv^2/r$) e questa aumenta all'aumentare della massa delle particelle, del quadrato della velocità e a diminuire del raggio del ciclone. L'efficienza di depolverazione di un ciclone dipende anche dalla geometria costruttiva [4]. È evidente come il diametro delle polveri, con rendimento di abbattimento del ciclone al 50%, per una velocità di ingresso dell'aria di 15 m/s, assuma valori abbastanza elevati e pari a 3,6 e 4,1 μm rispettivamente per i cicloni con diametro pari a 400 ÷ 516 mm [5].

Soltanto per dare un'idea della polverosità che si crea durante la raccolta delle nocchie sono state scattate alcune foto. La polvere di dimensioni medio-grosse (> 50-100 μm) provoca un danno ambientale per il fatto di depositarsi su tutta la vegetazione, o sospinta dal vento, costituire nuvole che vanno ad investire paesi, strade o gruppi di case.



Foto 15 Polveri durante la raccolta.



Foto 16 Polveri durante la raccolta.



Foto 17 polveri durante la raccolta.

Nella Provincia di Viterbo le principali ditte costruttrici che hanno messo a punto macchine semoventi per la raccolta sono la “Facma” e la “Agrintem”. I prototipi realizzati dalle ditte indicate sono stati rispettivamente la “Cimina ” e la “Perla 55”.

La Perla 55 è una macchina raccattatrice semovente equipaggiata di un motore diesel 3.000 cm³ di cilindrata e di 44 kW di potenza massima. Ha una larghezza operativa di circa 2,5 m, è dotata di trasmissioni idrauliche e si muove su tre ruote, con direttrice disposta posteriormente. La macchina, che può trainare piccoli carrelli, richiede un addetto alla guida ed un secondo operatore per la rimozione dei rami dal terreno in modo da evitare danni al dispositivo di raccolta. Durante la raccolta la velocità di avanzamento è di circa 3 km/h. La testata di raccolta è costituita da due spazzole convogliatrici anteriori che possono essere di gomma rigida o a pettine, ruotanti intorno ad un asse orizzontale. Le nocciole sono portate dalle spazzole su un nastro elevatore che svolge sia la funzione di raccolta che quella di trasporto. Per mezzo di questo rullo, le nocciole raggiungono il nastro trasportatore che è formato da palette d'equa distanza e, girando sul tratto grigliato sottostante, permettono così la prima cernita.

Contemporaneamente viene scaricato il primo terriccio e da qui le nocciole sono condotte al punto di caduta. Mentre cadono sono investite da una grossa quantità d'aria emessa dal ventilatore che consente l'eliminazione d'impurità come foglie, rametti etc..

Infine le nocciole trovano un nastro trasversale grigliato che esegue un'ultima cernita, separandole dai sassi e portandole ad un terzo nastro che le deposita nel cassone posteriore portato dalla macchina.



Foto 18 Particolare della Perla 55 Semovente.

Tale macchina può raccogliere anche senza la preventiva andanatura del prodotto; è comunque prassi comune che il prodotto prima di essere raccolto venga “soffiato”, con delle macchine soffiatrici, in modo da formare delle file più o meno larghe per ridurre il numero delle passate sul terreno con la macchina. Le prestazioni di questa macchina si aggirano attorno ai 1500-2000 kg/h.

Questa è una delle macchine con cui sono stati eseguiti i campionamenti durante la raccolta.



Foto 19 Particolare della Perla 55.

La Facma Cimina è una aspiratrice semovente dotata di trasmissioni idrauliche e monta un motore turbocompresso di 3.950 cm³ di cilindrata e 61 kW di potenza massima. La semovente è caratterizzata da tre ruote motrici, di cui quella anteriore direttrice. La velocità di avanzamento in raccolta raggiunge i 2,5 km/h, mentre la larghezza di lavoro è di circa 2,5 m. Le nocciole vengono raccolte da una coppia di spazzole flessibili in plastica, poste nella parte anteriore e ruotanti in senso opposto, che le ammassano verso il tubo di aspirazione. Questo è posto in posizione centrale su una slitta metallica che ne regola l'altezza da terra, inoltre è dotato di un pistone idraulico che regola il moto trasversale. Il prodotto aspirato è convogliato in una camera di separazione ed il processo di pulizia dalle impurità è analogo a quello già descritto per la macchina trainata.

La testata di raccolta è un brevetto della ditta Facma. Essa consente di prelevare da terra la frutta secca (non solo nocciole ma anche castagne, mandorle, etc.) tramite un dispositivo raschiatore-convogliatore. Tale dispositivo consiste in due spazzole, in gomma telata flessibile, controrotanti ad asse verticale (con velocità di rotazione pari a 60 giri al minuto), con elementi raschiatori sostenuti da bracci radiali in grado di oscillare verticalmente per favorire le condizioni di aderenza anche su terreni irregolari. Il dispositivo poggia a terra mediante un pattino regolabile, mentre il movimento avviene grazie ad una catena di trasmissione collegata ad un motore idraulico.



Foto 20 particolare della testata di raccolta della Cimina 300.

La macchina è azionabile da un solo operatore, mentre un secondo operatore a piedi segue la macchina per ogni necessità.

I modelli delle macchine della Facma con cui sono stati eseguiti i campionamenti delle polveri, oltre alla semovente Cimina 300, sono stati: la Cimina 120 trainata, la Cimina 180 trainata, la Cimina semovente 200. I rendimenti di tali macchine sono: per la Cimina S. 300 0,5-0,4 ha/h; per la Cimina S. 200 0,3 ha/h (0,25 ha/h [2]); per la Cimina S. 180 0,3 ha/h e per la Cimina 120 trainata 0,1 ha/h (0,07 ha/h [2]). I dati sono forniti dalla stessa ditta costruttrice.



Foto 21 Particolare della Semovente Cimina 200 durante la raccolta.



Foto 22 Particolare della Semovente Cimina 200 (valvola espulsione impurità pesanti) durante la raccolta.

4. 2 I NOCCIOLIFICI

Una volta che sono state portate dal produttore al nocciolificio, le nocciole vengono pesate e poi scaricate nei magazzini, da cui, tramite dei nastri trasportatori, vengono traslocate in essiccatoi dove perderanno umidità in modo graduale. Durante lo scarico del prodotto viene prelevata la quantità di un chilo di frutti che sarà oggetto di alcune operazioni (pesatura con e senza guscio e controllo della presenza di semi difettati) che permetteranno di poter stabilire il prezzo determinando così quella che viene definita la “resa” del prodotto.



Foto 23 Operazione di pesatura delle nocciole all'arrivo al nocciolificio.



Foto 24 Operazione necessaria per determinare la percentuale di cimiciato.

La prima fase di lavorazione che avviene nel nocciolificio dopo lo scarico, consiste in una prepulitura del prodotto. Questa può avvenire in due modi: con acqua o aria. Nella prima il prodotto viene “lavato” cioè posto in vasche con acqua in modo che le impurità sedimentino; nel secondo sono poste in serbatoi a ventilazione differenziata e la pulizia avviene per mezzo di forti correnti d’aria. A questa operazione segue l’essiccazione, con la quale i frutti sono portati ad un’umidità commerciale del 6%.

Questo trattamento avviene mediante essiccatoi che fanno perdere umidità in modo graduale impedendo danni ai gusci (spaccature). La temperatura dell’aria varia tra i 45 ed i 60° C; i tempi possono variare in base all’umidità di entrata, con un’umidità del 10-12% possono occorrere tra le 6 e le 7 ore; mentre per un’umidità superiore al 16% possono occorrere fino a 12 ore. Le capacità lavorative degli essiccatoi possono arrivare a 50 t/h (dipende dalla capacità volumetrica degli stessi e dall’umidità iniziale delle nocciole).

Una volta essiccate le nocciole non hanno particolari esigenze per la conservazione e possono mantenersi per oltre un anno.



Foto 25 Esempio di essiccatoi presso un nocciolificio.

Dopo l'essiccazione i frutti vengono inviati alla lavorazione vera e propria: calibratura dei frutti in guscio, sgusciatura, selezione del prodotto di qualità, calibratura dei semi sgusciati, confezionamento o, se presente, distribuzione alla sala dei semilavorati.

La precalibratura ha l'obiettivo di suddividere i frutti in guscio in classi di calibro ed agevolare il successivo lavoro delle macchine sgusciatrici. La sgusciatrice è un frantoio costituito da numerose piastre controrotanti scanalate, poste a distanze registrabili in funzione del calibro del frutto da sgusciare. La precalibratura ha lo scopo di poter immettere nelle sgusciatrici le giuste classi di calibro, impedendo che le piastre ruotanti durante la loro evoluzione possano frantumare i semi (calibri troppo grandi) o evitare di sgusciarli (calibri piccoli) [3]. A questo punto il prodotto subisce un'ulteriore pulizia, da impurità come resti di gusci e residui vegetali, ed una selezionatura per eliminare marciumi o semi raggrinziti.

La sgusciatura e la selezionatura con macchine ottiche e a risonanza, quindi, precedono la cernita manuale effettuata da operatrici sedute lateralmente a nastri trasportatori su cui passa il prodotto dal quale viene eliminato quello da scartare. La sala

dove avviene questa lavorazione viene indicata come “sala cernita”: è in questo tipo di sala che sono stati effettuati i campionamenti.

Infine il prodotto viene convogliato alle calibratrici che lo separano in base al diametro in modo da poter essere confezionato in classi di calibro (4 o 5).



Foto 26 Calibro prima della sgusciatura.



Foto 27 Esempio di macchina sgusciatrice.



Foto 28 Esempio di una sala cernita.



Foto 29 Esempio di un'altra sala cernita.

Nella sala, che possiamo definire di confezionamento, alla macchina insacchettatrice sono presenti uno o due operatori, i quali oltre a sostituire i sacchi, di diverse dimensioni, con l'ausilio di carrelli e muletti, destinano il prodotto alla vendita, o alla conservazione in celle frigorifere, o, quando presente, alla sala di produzione dei semilavorati (dove avviene la tostatura, la pelatura, la produzione di granella o pasta). In genere vengono utilizzati sacchi in polietilene di diverse misure, che vengono chiusi con una cucitrice a filo. Sugli imballi vengono successivamente poste delle etichette con il marchio del nocciolificio, l'indirizzo, il tipo di prodotto (per esempio "Noccioline Romane Sgusciate"), il peso netto, la dimensione del calibro (per esempio 13 mm). Infine le confezioni vengono accatastate su pianali in legno e sagomate con cellofan in modo da poter essere trasportate e movimentate con carrelli a forche.



Foto 30 Macchina insacchettatrice.



Foto 31 Confezioni accatastate su pianale in legno e sagomate con cellofan.



Foto 32 Confezioni trasportate con carrelli.

I frutti a questo punto possono essere destinati all'industria dolciaria per la manifattura di torroni, cioccolate nocciolate (nocciole) o confetti (mandorle),

all'industria gelatiera o alle pasticcerie per granelle e coni gelato, all'industria in genere per paste o farciture di prodotti da forno.

Non dimentichiamo, inoltre, che un altro prodotto esce dai nocciolifici, una volta considerato residuo della lavorazione oggi invece fonte di energia: i gusci. Il sottoprodotto della sgusciatura viene convogliato, sempre tramite dei nastri, a dei rimorchi o camion che ne provvedono alla distribuzione sul mercato, oppure può essere utilizzato per alimentare gli stessi essiccatoi all'interno del nocciolificio.

5 MATERIALI E METODI

I rilevamenti per la valutazione dell'esposizione a polveri sono stati eseguiti durante la raccolta meccanizzata delle nocciole, in diverse zone della provincia di Viterbo (Soriano, Gallese, Vignanello), e con l'utilizzo di diverse tipologie di macchine, prodotte dalle ditte costruttrici: Facma e Agrintem. In particolare sono stati fatti i prelievi durante la raccolta con i modelli: Cimina 120 trainata, Cimina 180 trainata, Cimina 200 semovente, Cimina 300 semovente della Facma. E con i modelli: Smart 55 trainata e Perla 55 semovente dell'Agrintem. Sono, inoltre, stati eseguiti due prelievi con due diverse tipologie di andanatrici: quella della Facma e quella della Bosh.

Altri rilevamenti sono stati realizzati in diversi nocciolifici, sempre, del viterbese, in particolare nella sala cernita.

Inoltre sempre presso gli stessi stabilimenti è stata valutata l'esposizione al rumore durante il lavoro del personale addetto alla cernita e di quello preposto al confezionamento. Le sorgenti sonore connesse all'attività che espongono i lavoratori al rumore sono, essenzialmente, le macchine sgusciatrici e le calibratrici. Anche se l'attuale normativa italiana di riferimento in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall'esposizione al rumore durante il lavoro è il D. Lgs. 195/06, in questo lavoro è stata eseguita la procedura prevista dal D. Lgs. 277/91, in vigore nel periodo di effettuazione delle prove.

5. 1 PROCEDURA ESEGUITA PER IL CAMPIONAMENTO DELLE POLVERI

Sono stati effettuati campionamenti di tipo personale, con dispositivi applicati al corpo degli addetti posizionando l'orifizio d'entrata del selettore all'altezza delle vie respiratorie e comunque ad una distanza inferiore a trenta centimetri da naso o bocca.

Ciò al fine di ottenere risultati maggiormente rappresentativi dell'esposizione. I campionatori sono stati fatti indossare dal conducente, o dal suo assistente, nel caso della macchina semovente; e dal conducente del trattore, o dall'addetto all'aspirazione con i tubi, nel caso di macchine trainate. Mentre nei nocciolifici sono stati fatti indossare alle lavoratrici sedute ai nastri della sala cernita.

In particolare sono stati utilizzati il ciclone Dorr-Oliver ed il Casella SKC. Il primo dispone di un unico ingresso per il campione dell'aria: è stata, quindi, prestata particolare cura durante il montaggio per evitare di ostruire tale ingresso con un errato posizionamento. Al fine di ottenere il taglio particellare a $3,5 \mu\text{m}$ il flusso di aspirazione è stato mantenuto costante a 1,7 litri al minuto.

Il secondo ciclone è fabbricato in materiale plastico conduttivo insensibile all'influenza di cariche elettrostatiche, al contrario del Dorr-Oliver in genere realizzato in plastica non conduttiva. Il ciclone SKC, durante il campionamento, è stato tarato ad una portata di 2,2 litri al minuto per campionare le particelle della frazione respirabile con un taglio a $4 \mu\text{m}$. A differenza del Dorr-Oliver; dispone di un ingresso dell'aria di tipo omnidirezionale orientato verso il basso. Pratico da utilizzare, è dotato di un clip per il posizionamento sull'operatore. Tale ciclone, in caso di elevata presenza di polverosità, presenta il problema di concentrare troppo il campione nella parte centrale della membrana filtrante, non sfruttando tutta la superficie del filtro. Proprio per questa motivazione, si è deciso, su suggerimento dei tecnici del laboratorio di Igiene Industriale, di utilizzare per le prove di raccolta in campo, dove è presente un elevato quantitativo di polvere, anche il ciclone Dorr-Oliver, oltre al Casella SKC.

Per le misure sono stati impiegati filtri in nitrato di cellulosa con porosità di $0,8 \mu\text{m}$ e diametri da 25 e 37 mm. Questi ultimi sono stati impiegati per il selettore Casella, al fine di avere una maggiore superficie filtrante ed ovviare così al problema sopra accennato. Al fine della determinazione della concentrazione delle polveri, i filtri sono

stati pesati, prima e dopo i rilievi, con una bilancia analitica in grado di apprezzare 0,1 mg (a cinque cifre dopo la virgola). Durante le operazioni di pesatura la norma standard cui fare riferimento è la ISO 15767/2000, incorporata nel metodo di riferimento UNICHIM n. 285/2003 (Ass. per l'Unificazione nel settore dell'Industria Chimica).

Questi filtri sono estremamente igroscopici, per tale motivo le operazioni di pesatura sono state eseguite nel laboratorio di Igiene Industriale in ambiente ristretto ad umidità controllata, tramite un igrometro. I filtri in nitrocellulosa con diametro di 25 mm e porosità di 0,8 µm variano il proprio peso di circa 12 µg al variare di ogni unità percentuale di umidità relativa (UR%). [17]



Foto 33 Camera di pesatura, con bilancia analitica, del lab. di Igiene Industriale.

Il dieci per cento dei filtri che sono stati pesati per il campionamento sono stati utilizzati come test, cioè sono stati portati sul luogo del rilievo ma non sono mai stati adoperati. Ciò ha reso possibile controllare le eventuali differenze di peso dovute all'influenza dell'umidità.

Per calcolare il quantitativo di polvere riportato su ogni filtro è stata utilizzata l'equazione:

$$P = (B - A) - \Delta p \text{ bianchi}$$

dove:

P rappresenta il peso della polvere (mg), depositata sul filtro

B peso del filtro dopo il monitoraggio (mg) e quindi ricoperto di polvere

A peso del filtro bianco iniziale (mg)

Δp bianchi differenza tra peso finale e peso iniziale dei filtri bianchi che non hanno campionato.

Successivamente è stata calcolata la concentrazione di polvere, in mg/m^3 , dividendo la quantità di polvere depositata sul filtro, in mg, per il volume aspirato, in m^3 . Il valore del volume è dato dal prodotto del tempo di campionamento per la portata del selettore (si ottiene così un valore del volume in litri, facilmente trasformabile in m^3 dividendolo per mille).

Prima di iniziare il campionamento è stata eseguita la calibrazione della strumentazione con un flussimetro di tipo elettronico. Prima nel Dorr-Oliver, poi nel Casella SKC, è stato posto un filtro (in seguito non più utilizzato), nell'apposito portafiltro, ed è stato collegato il selettore alla pompa tramite un tubo in PVC. E' stata accesa la pompa, ed è stato collegato l'ingresso del selettore con il flussimetro calibrato; dopo qualche minuto è stata impostata la portata a 1,7 l/m per il Dorr-Oliver e a 2,2 l/m per il Casella.

La pompa è stata posizionata all'altezza della vita del lavoratore, attaccata alla cintura, in maniera da non ostacolare la normale attività. La pompa utilizzata è della SKC modello AirChek 52 dotata di una batteria NiCad ricaricabile da 1,8 ampere (A) e 4,8 V.

Durante il campionamento è stato controllato periodicamente che la pompa funzionasse correttamente e che i tubi, che la collegano al ciclone, non presentassero strozzature o piegature. La durata del campionamento è stata variabile e fondamentalmente dovuta al tempo occorso al filtro per coprirsi di uno strato di polvere, né troppo leggero ma neanche troppo abbondante. In questo ha influito anche la situazione ambientale, infatti per esempio, la stagione del 2006 è stata caratterizzata da un settembre umido e piovoso che ha contribuito a mantenere abbastanza bassi i livelli di polverosità, generalmente molto elevati, durante la raccolta delle nocciole.

Alla fine del campionamento, e prima di spegnere la pompa, è stato ricontrollato il flusso mediante flussimetro a bolla; nel caso in cui il flusso post campionamento differiva per più di 0,1 l/m dal valore della portata impostata, il campione non è stato considerato valido. I campioni ritenuti validi sono stati rimossi dal campionatore con

l'ausilio di pinzette, posti in idonei contenitori di plastica conduttiva e portati al laboratorio per effettuare l'analisi. In questa fase, come in quella di trasposto, si deve usare particolare attenzione nel maneggiare i filtri per non rovinarli ed evitare che siano soggetti ad urti, rischiando così di inficiare il lavoro svolto.

Durante il campionamento sono stati registrati, su apposite schede, dei dati significativi riguardanti il campionamento stesso, come per esempio il flusso iniziale e finale, il tipo di campionatore, l'ora di inizio e fine, il tempo totale, il numero di identificazione del filtro. Sono, inoltre, state annotate: l'attività del lavoratore, le macchine utilizzate, le eventuali pause. (Allegato A).

Una volta in laboratorio i campioni sono stati controllati da personale specializzato, in particolare dal Dott. M. De Rossi, pesati ed infine posti all'analisi diretta col metodo diffrattometrico. Lo strumento (modello PW 1729 Philips), già pronto, veniva azionato con l'inserimento del numero del programma (n.7) dal contatore, dal quale poi uscivano su carta millimetrata i risultati di ogni lettura.

Ogni filtro è stato inserito nello strumento (foto 10) che, in caso di presenza della silice, dava il valore del picco (come altezza). Per ogni filtro si è ripetuta la lettura più volte (almeno tre o quattro). Nel caso si aveva un risultato positivo i diversi valori dei picchi (indicati con la sigla CPS, cioè colpi per secondo), riportati sul display del rilevatore (foto 14), sono stati mediati aritmeticamente ed il risultato è stato posto in un programma, elaborato dal personale del laboratorio, che ha espresso il valore della silice in μg . Per ottenere, infine, la concentrazione della silice di ogni filtro tale valore, dopo averlo trasformato in mg , è stato diviso per il volume aspirato (m^3), ottenendo così i mg/m^3 di silice.

5. 2 STRUMENTAZIONE E MODALITA' DI MISURA PER IL RUMORE

Le misure sono state effettuate utilizzando il fonometro Bruel & Kjaer tipo “2260 Investigator”. Lo strumento è stato calibrato prima e dopo ogni sessione di misura. A tal fine è stato utilizzato un calibratore sonoro (mod. 4231) con precisione di $\pm 0,3$ dB, di classe I (come specificato nella IEC 942). Tale strumento produce un tono puro di 1000 Hz del livello di 94 dB.

Le rilevazioni di rumore sono state effettuate ponendo il microfono dello strumento a circa dieci centimetri dall'orecchio più esposto dell'operatore. La misurazione è stata eseguita in presenza dell'operatore, sull'effettiva postazione, e durante le normali condizioni di lavoro. Su ogni postazione di lavoro sono stati effettuati tre rilevamenti di misura. La durata di ognuno è stata di circa una dozzina di minuti, scelta dopo aver considerato la variabilità del rumore.



Foto 34 Fonometro Bruel & Kjaer.

Le grandezze fisiche misurate per la determinazione del livello di esposizione giornaliero e/o settimanale dei lavoratori al rumore sono le seguenti:

$L_{Aeq, T}$: livello equivalente di pressione acustica, nel tempo di misure T, rilevato con filtro di ponderazione in frequenza A. Il livello equivalente può essere considerato come il livello di un ipotetico rumore costante, che sostituito al rumore reale per lo stesso intervallo di tempo, comporta la stessa quantità totale di energia.

$L_{peak, T}$: livello di pressione acustica istantanea non ponderata. Viene rilevato utilizzando la costante di tempo strumentale “peak” (100 μ s).

Da evidenziare come, con la nuova normativa (D. Lgs. 195/06), tale valore debba essere ponderato in frequenza “C”.

Per quanto riguarda i tempi di esposizione al rumore di una giornata lavorativa tipica non sono stati misurati direttamente, ma l’orario di lavoro è stato esposto dai lavoratori stessi e dal datore di lavoro.

I livelli di esposizione personale al rumore sono stati ricostruiti sulla base dei livelli sonori misurati e dei tempi di esposizione dichiarati, secondo le formule riportate nell’articolo 39 del D. Lgs. 277/91 e nella norma UNI 9432. L’art. 39 definisce l’esposizione quotidiana personale di un lavoratore al rumore ($L_{EP,d}$) e l’esposizione settimanale professionale di un lavoratore al rumore ($L_{EP,w}$). Entrambi sono espressi in dB(A).

Il primo si ottiene con la formula:

$$L_{EP,d} = L_{Aeq, T_e} + 10 \log T_e/T_0$$

dove:

$$L_{Aeq, T_e} = 10 \log \left[\frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} (pA(t)/p_0)^2 dt \right]$$

T_e = è la durata quotidiana dell’esposizione personale di un lavoratore al rumore;

T_0 = 8 ore lavorative espresse in secondi (8 h = 28.800 s);

p_0 = 20 μ Pa

pA = pressione acustica istantanea ponderata A, in Pascal, cui è esposta, nell’area a pressione atmosferica, una persona che potrebbe o meno spostarsi da un punto ad un altro del luogo di lavoro. L’esposizione quotidiana non tiene conto degli effetti di un qualsiasi mezzo individuale di protezione.

L’esposizione settimanale professionale di un lavoratore al rumore è data dalla media settimanale dei valori quotidiani, valutata sui giorni lavorativi della settimana. Si calcola con la formula:

$$L_{EP,w} = 10 \log 1/5 \sum_{k=1}^m 10^{0,1(L_{EP,d})_k}$$

dove $(L_{EP,d})_k$ rappresenta i valori di $L_{EP,d}$ per ognuno degli m giorni di lavoro della settimana considerata.

Non ci sono differenze sostanziali tra questi indicatori ed il livello di esposizione giornaliero al rumore $L_{EX,8h}$ e del livello di esposizione settimanale al rumore $\bar{L}_{EX,8h}$ (riportati nella nuova normativa D. Lgs. 195/06) [16].

6 RISULTATI

6. 1 RILEVAMENTI FONOMETRICI

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori dei rilevamenti fonometrici effettuati in diversi nocciolifici della provincia di Viterbo. I tempi di misura sono stati scelti per essere rappresentativi dei fenomeni acustici in esame e delle specifiche condizioni di esposizioni dei lavoratori. Gli errori casuali di misura sono stati valutati con il criterio della deviazione standard.

Le tabelle sono distinte per differenti luoghi di lavoro: la sala cernita, dove avviene la selezione manuale del prodotto, e la sala confezionamento dove le nocciole vengono imballate, dopo essere state pesate e scelte in base al calibro, e preparate per le diverse destinazioni. Quindi per ogni nocciolificio sono state realizzate due tabelle.

| MISURA Sala Cernita | LAeq dB(A) | Lpk dB | Tempo s |
|------------------------|-------------------|--------------------|------------|
| n° 1 | 81,5 | 103,6 | 900 |
| n° 2 | 81,7 | 104,2 | 900 |
| n° 3 | 81,3 | 108,7 | 900 |
| | LAeq medio | Lpk massimo | |
| | 81,5 | 108,7 | |
| Deviazione Standard | | 0,2 | |

Tabella 2 – valori misurati nella sala cernita del nocciolificio uno.

| MISURA Sala confezionamento | LAeq dB(A) | Lpk dB | Tempo s |
|--------------------------------|-------------------|--------------------|------------|
| n° 1 | 86,4 | 107,5 | 900 |
| n° 2 | 86,7 | 104,2 | 900 |
| n° 3 | 86,2 | 107,5 | 900 |
| | LAeq medio | Lpk massimo | |
| | 86,4 | 107,5 | |
| Deviazione Standard | | 0,25 | |

Tabella 3 – valori misurati nella sala confezionamento del nocciolificio uno.

| MISURA Sala Cernita | LAeq dB(A) | Lpk | Tempo s |
|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| | | dB | |
| n° 1 | 78,1 | 100,4 | 900 |
| n° 2 | 78,0 | 97,5 | 900 |
| n° 3 | 77,7 | 100,8 | 900 |
| | LAeq medio 77,9 | Lpk massimo 100,8 | |
| Deviazione Standard | 0,2 | | |

Tabella 4 – valori misurati nella sala cernita del nocciolificio due.

| MISURA Sala confezionamento | LAeq dB(A) | Lpk | Tempo s |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|
| | | dB | |
| n° 1 | 80,1 | 101 | 900 |
| n° 2 | 80,3 | 100 | 900 |
| n° 3 | 80,4 | 100,2 | 900 |
| | LAeq medio 80,3 | Lpk massimo 101 | |
| Deviazione Standard | 0,15 | | |

Tabella 5 – valori misurati nella sala confezionamento del nocciolificio due.

| MISURA Sala Cernita | LAeq dB(A) | Lpk dB | Tempo s |
|------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| n° 1 | 77,2 | 101,1 | 480 |
| n° 2 | 77,2 | 100,3 | 480 |
| n° 3 | 78,0 | 102,4 | 480 |
| | LAeq medio 77,5 | Lpk massimo 102,4 | |
| Deviazione Standard | | 0,4 | |

Tabella 6 – valori misurati nella sala cernita del nocciolificio tre.

| MISURA Sala confezionamento | LAeq dB(A) | Lpk dB | Tempo s |
|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------|
| n° 1 | 81,6 | 103,2 | 480 |
| n° 2 | 81,5 | 99,5 | 480 |
| n° 3 | 81,6 | 99,6 | 480 |
| | LAeq medio 81,6 | Lpk massimo 103,2 | |
| Deviazione Standard | | 0,06 | |

Tabella 7 – valori misurati nella sala confezionamento del nocciolificio tre.

| MISURA Sala Cernita | LAeq dB(A) | Lpk dB | Tempo s |
|------------------------|---------------------------|----------------------------|------------|
| n° 1 | 55,3 | 80,1 | 900 |
| n° 2 | 56,6 | 79,6 | 900 |
| n° 3 | 57,0 | 96,3 | 900 |
| | LAeq medio 56,3 | Lpk massimo 96,3 | |
| Deviazione Standard | 0,8 | | |

Tabella 8 – valori misurati nella sala cernita del nocciolificio quattro.

| MISURA | LAeq | Lpk | Tempo |
|----------------------|---------------------------|----------------------------|-------|
| Sala confezionamento | dB(A) | dB | s |
| n° 1 | 59,0 | 76,7 | 900 |
| n° 2 | 57,2 | 77,2 | 900 |
| n° 3 | 59,1 | 80,1 | 900 |
| | LAeq medio 58,4 | Lpk massimo 80,1 | |
| Deviazione Standard | 1,06 | | |

Tabella 9 – valori misurati nella sala confezionamento del nocciolificio quattro.

6. 2 LIVELLI DI ESPOSIZIONE

Nelle tabelle che seguono si riportano i tempi di esposizione, ed i livelli di esposizione personale quotidiana al rumore. I livelli di esposizione personale, riportati, sono stati ricostruiti in base ai livelli sonori misurati e ai tempi di esposizione dichiarati dalle aziende, secondo le formule riportate nell'articolo 39 del D. Lgs. 277/91.

| Lavoratori esposti | Tempi di esposizione (minuti) | Livelli misurati dB(A) | LEP,d dB(A) |
|--|-------------------------------|------------------------|-------------|
| n° 8 Ambiente di lavoro Sala Cernita | 460 | 81,5 | 81,3 |

Tabella 10 – livelli di esposizione personale quotidiana nella sala cernita del nocciolificio uno.

| Lavoratori esposti | Tempi di esposizione (minuti) | Livelli misurati dB(A) | LEP,d dB(A) |
|--|-------------------------------|------------------------|-------------|
| n° 2 Ambiente di lavoro Sala Confezionamento | 460 | 86,4 | 86,2 |

Tabella 11 – livelli di esposizione personale quotidiana nella sala confezionamento del nocciolificio uno.

| Lavoratori esposti n° 5 | Tempi di esposizione (minuti) | Livelli misurati dB(A) | LEP,d dB(A) |
|------------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------|
| Ambiente di lavoro Sala Cernita | 470 | 77,9 | 77,8 |

Tabella 12 – livelli di esposizione personale quotidiana nella sala cernita del nocciolificio due.

| Lavoratori esposti n° 2 | Tempi di esposizione (minuti) | Livelli misurati dB(A) | LEP,d dB(A) |
|--|-------------------------------|------------------------|-------------|
| Ambiente di lavoro Sala Confezionamento | 470 | 80,3 | 80,2 |

Tabella 13 – livelli di esposizione personale quotidiana nella sala confezionamento del nocciolificio due.

| | | | |
|--|---|---|----------------------------|
| Lavoratori esposti n° 6 Ambiente di lavoro Sala Cernita | Tempi di esposizione (minuti) 480 | Livelli misurati dB(A) 77,5 | LEP,d dB(A) 77,5 |
|--|---|---|----------------------------|

Tabella 14 – livelli di esposizione personale quotidiana nella sala cernita del nocciolificio tre.

| | | | |
|--|---|---|----------------------------|
| Lavoratori esposti n° 1 Ambiente di lavoro Sala Confezionamento | Tempi di esposizione (minuti) 450 | Livelli misurati dB(A) 77,5 | LEP,d dB(A) 77,2 |
|--|---|---|----------------------------|

Tabella 15 – livelli di esposizione personale quotidiana nella sala confezionamento del nocciolificio tre.

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| Lavoratori esposti n° 5 Ambiente di lavoro Sala Cernita | Tempi di esposizione (minuti) 470 | Livelli misurati dB(A) 56,3 | LEP,d dB(A) 56,2 |
|--|---|---------------------------------------|--------------------------------|

Tabella 16 – livelli di esposizione personale quotidiana nella sala cernita del nocciolificio quattro.

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|--------------------------------|
| Lavoratori esposti n° 2 Ambiente di lavoro Sala Confezionamento | Tempi di esposizione (minuti) 470 | Livelli misurati dB(A) 58,4 | LEP,d dB(A) 58,3 |
|--|---|---------------------------------------|--------------------------------|

Tabella 17 – livelli di esposizione personale quotidiana nella sala confezionamento del nocciolificio quattro.

6. 3 ANALISI DEI RISULTATI FONOMETRICI

Come si può notare dai risultati l'esposizione al rumore è inferiore a 80 dB(A) per i lavoratori del nocciolificio definito numero quattro (tabelle 16 e 17) e per quelli del nocciolificio tre (tabelle 15 e 14) e per le lavoratrici della sala cernita del nocciolificio due (tabella 12), compresa tra 80 e 85 dB(A) per i lavoratori della sala confezionamento del nocciolificio due (tabella 13) e per le lavoratrici della sala cernita del nocciolificio uno (tabella 10), ed infine compresa tra 85 e 90 dB(A) per i lavoratori del nocciolificio uno (tabella 11). In nessuna postazione di lavoro è stato riscontrato un valore della pressione acustica istantanea non ponderata superiore a 140 dB (tale valore con la nuova normativa D. Lgs.195/06 deve essere ponderato in frequenza "C").

Ai lavoratori esposti a $L_{EP,d}$ inferiore a 80 dB(A), il datore di lavoro deve tutte le misure di tutela e prevenzione, previste dall'articolo 4 del D. Lgs. 277/91, nonché l'informazione per gli specifici rischi dovuti all'esposizione. Per un $L_{EP,d}$ compreso tra gli 80 e 85 dB(A), il datore di lavoro è tenuto ad informare i lavoratori sui rischi per l'udito; funzione dei mezzi di protezione individuale; misure di protezione cui i lavoratori devono conformarsi; ruolo e significato del controllo sanitario. Per lo stesso caso il D. Lgs. 195/06 prevede che il datore di lavoro formi ed informi il lavoratore sui rischi provenienti dall'esposizione al rumore con particolare riferimento "ai risultati delle valutazioni e misurazioni del rumore effettuate" e "all'uso corretto dei dispositivi di protezione individuale dell'udito", dispositivi che devono essere messi a disposizione dei lavoratori (art. 49-septies), ed all'informazione sul diritto ad una sorveglianza sanitaria, nonché a visita medica se richiesta.

Mentre nei confronti dei lavoratori che sono esposti ad un $L_{EP,d}$ compreso tra 85 e 90 dB(A), il datore di lavoro è tenuto, in base al D. Lgs. 277/91, a fornire i lavoratori di idonei dispositivi di protezione per l'udito, ad informarli sul loro corretto uso, alla sorveglianza sanitaria dei lavoratori con visita medica preventiva e a successivi accertamenti sanitari con periodicità non superiore ai due anni.

Per la nuova normativa, D. Lgs. 195/06, c'è l'obbligo del non superamento del valore limite di esposizione (87 dB(A)), ma nel caso ciò accadesse, il datore di lavoro deve adottare "misure immediate per riportare l'esposizione" al di sotto di tale valore (art. 49-octies).

Inoltre il datore di lavoro sottopone alla sorveglianza sanitaria i lavoratori esposti ad un $L_{EP,d}$ superiore a 85 dB(A).

Per quanto riguarda i valori relativi alle sale confezionamento, bisogna specificare che in alcuni casi i lavoratori, anche se trascorrono la maggior parte del loro tempo di lavoro in questa sala, sono sottoposti a rumori di diversa intensità passando da ambienti più rumorosi ad ambienti meno rumorosi. Spetta a loro, infatti, il controllo del buon funzionamento dei macchinari (può capitare che a volte si verifichino malfunzionamenti) per la sgusciatura (ambiente più rumoroso), ma spetta sempre a loro il trasporto, con muletti, dei sacchi di nocciole nei magazzini di stoccaggio o nelle celle frigo.

6. 4 CAMPIONAMENTI POLVERI

Le tabelle che seguono mostrano i valori di polveri respirabili che sono stati campionati durante la raccolta delle nocciole nel mese di settembre 2006. Le tabelle sono state suddivise per differenti tipologie di macchine utilizzate nella raccolta, inoltre, è stato specificato il tipo di terreno (lavorato o inerbito), sono stati riportati i valori dei volumi campionati oltre alla concentrazione ed alla massa delle polveri. I valori limite (TLV-TWA) posti dall'ACGIH per le polveri respirabili sono di 3 mg/m^3 (almeno per le polveri PNOC).

Mentre per la silice il valore limite (TLV-TWA) è pari a $0,025 \text{ mg/m}^3$. [20]

| Macchina | Dispositivo abbattimento polveri | Tipo terreno | Volume aspirato litri | Polvere mg | Concentrazione polveri respirabili mg/m ³ |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|--|
| Cimina 120 T | ciclone | inerbito | 210,8 | 0,20 | 0,93 |
| Cimina 120 T | " | " | 137,7 | 0,12 | 0,85 |
| Cimina 120 T | " | " | 113,9 | 0,15 | 1,29 |
| | | | | Media | 1,02 |
| | | | | Dev.Stand. | 0,23 |

Tabella 18 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato durante la raccolta delle nocciole con la macchina trainata Cimina 120.

| Macchina | Dispositivo abbattimento polveri | Tipo terreno | Volume aspirato litri | Polvere mg | Concentrazione polveri respirabili mg/m ³ |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|--|
| Cimina 180 S | priva | inerbito | 226,1 | 1,05 | 4,63 |
| Cimina 180 S | " | " | 231,2 | 0,26 | 1,11 |
| | | | | Media | 2,87 |

Tabella 19 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato durante la raccolta delle nocciole con la macchina semovente Cimina 180.

| Macchina | Dispositivo abbattimento polveri | Tipo terreno | Volume aspirato litri | Polvere mg | Concentrazione polveri respirabili mg/m ³ |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|--|
| Cimina 200 S | ciclone | inerbito | 168,3 | 0,05 | 0,28 |
| Cimina 200 S | " | " | 52,7 | 0,03 | 0,51 |
| Cimina 200 S | " | " | 81,6 | 0,20 | 2,41 |
| Cimina 200 S | " | " | 127,5 | 0,62 | 4,84 |
| Cimina 200 S | " | " | 248,2 | 0,17 | 0,67 |
| | | | | Media | 1,18 |
| | | | | Dev.Stand. | 2,09 |

Tabella 20 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato durante la raccolta delle nocciole con la macchina semovente Cimina 200.

| Macchina | Dispositivo abbattimento polveri | Tipo terreno | Volume aspirato litri | Polvere mg | Concentrazione polveri respirabili mg/m ³ |
|--------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|--|
| Cimina 300 S | Ciclone | inerbito | 180,2 | 0,21 | 1,15 |
| Cimina 300 S | " | " | 183,6 | 0,67 | 3,63 |
| Cimina 300 S | " | " | 68 | 0,21 | 3,04 |
| Cimina 300 S | " | " | 86,7 | 0,42 | 4,81 |
| Cimina 300 S | " | " | 164,9 | 0,44 | 2,65 |
| Cimina 300 S | " | " | 56,1 | 0,36 | 6,36 |
| Cimina 300 S | " | " | 107,8 | 0,41 | 3,80 |
| Cimina 300 T | " | " | 95,2 | 0,05 | 0,49 |
| | | | | Media | 3,24 |
| | | | | Dev.Stand. | 1,89 |

Tabella 21 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato durante la raccolta delle nocciole con la macchina semovente Cimina 300.

| Macchina | Dispositivo abbattimento polveri | Tipo terreno | Volume aspirato litri | Polvere mg | Concentrazione polveri respirabili mg/m ³ |
|------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|--|
| Perla 55 S | priva | inerbito | 244,8 | 0,35 | 1,42 |
| Perla 55 S | " | " | 212,5 | 0,21 | 0,97 |
| Perla 55 S | " | " | 144,5 | 0,28 | 1,91 |
| Perla 55 S | " | " | 74,8 | 0,11 | 1,43 |
| Perla 55 S | " | " | 146,2 | 0,12 | 0,80 |
| Perla 55 T | " | " | 190,4 | 0,10 | 0,51 |
| | | | | Media | 1,17 |
| | | | | Dev. Stand. | 0,51 |

Tabella 22 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato durante la raccolta delle nocciole con la macchina semovente Perla 55.

| Macchina | Tipo terreno | Volume aspirato litri | Polvere mg | Concentrazione polveri respirabili mg/m ³ |
|-------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|--|
| Andanatrice Bosh | inerbito | 81,6 | 0,05 | 0,57 |
| Andanatrice Facma | " | 136,40 | 0,29 | 2,13 |
| | | | Media | 1,35 |

Tabella 23 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato durante la raccolta delle nocciole con la macchina andanatrice di due diverse ditte.

| Macchina | Volume aspirato litri | Polvere | | Silice | |
|--------------|--------------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|
| | | mg | Concentrazione mg/m ³ | mg | Concentrazione mg/m ³ |
| Cimina 200 S | 127,5 | 0,62 | 4,84 | 0,05 | 0,41 |
| Cimina 200 S | 248,2 | 0,17 | 0,67 | 0,03 | 0,10 |
| Cimina 120 T | 210,8 | 0,20 | 0,93 | 0,02 | 0,09 |
| Cimina 180 S | 226,1 | 1,05 | 4,63 | 0,02 | 0,10 |
| Cimina 180 S | 231,2 | 0,26 | 1,11 | 0,025 | 0,11 |
| Perla 55 S | 244,8 | 0,35 | 1,42 | 0,024 | 0,10 |
| Perla 55 S | 144,5 | 0,28 | 1,91 | 0,013 | 0,09 |
| Perla 55 S | 146,2 | 0,12 | 0,80 | 0,01 | 0,07 |
| Cimina 300 S | 180,2 | 0,21 | 1,15 | 0,011 | 0,06 |
| Cimina 300 S | 183,6 | 0,67 | 3,63 | 0,06 | 0,32 |
| Cimina 300 S | 68 | 0,21 | 3,04 | 0,02 | 0,29 |
| | | Media | 2,19 | Media | 0,16 |
| | | Dev.Stand. | 1,57 | Dev.Stand. | 0,12 |

Tabella 24 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato durante la raccolta delle nocciole, effettuata da diverse macchine, con ritrovamento di silice.

| Nocciolificio 1 Sala Cernita | Volume aspirato | Polvere | Concentrazione polveri respirabili |
|---------------------------------|-----------------|------------|------------------------------------|
| | litri | mg | mg/m ³ |
| | 272 | 0,29 | 1,05 |
| | 270,3 | 0,29 | 1,09 |
| | 349,8 | 0,37 | 1,04 |
| | 104,5 | 0,40 | 3,83 |
| | 100,7 | 0,20 | 1,99 |
| | 114 | 0,20 | 1,75 |
| | | Media | 1,79 |
| | | Dev.Stand. | 1,08 |

Tabella 25 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato nella sala cernita del nocciolificio uno.

| Nocciolificio 1 Sala Confezionamento | Volume aspirato | Polvere | Concentrazione polveri respirabili |
|---|-----------------|------------|------------------------------------|
| | litri | mg | mg/m ³ |
| | 258,4 | 0,77 | 3,00 |
| | 26,6 | 0,2 | 7,52 |
| | 22,8 | 0,1 | 4,39 |
| | | Media | 4,97 |
| | | Dev.Stand. | 2,32 |

Tabella 26 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato nella sala confezionamento del nocciolificio uno.

| Nocciolificio 2 Sala Cernita | Volume aspirato | Polvere | Concentrazione polveri respirabili |
|---------------------------------|--------------------|------------|---------------------------------------|
| | litri | mg | mg/m ³ |
| | 104,5 | 0,4 | 3,83 |
| | 66,5 | 0,2 | 3,01 |
| | 123,5 | 0,2 | 1,62 |
| | | Media | 2,82 |
| | | Dev.Stand. | 1,12 |

Tabella 27 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato nella sala cernita del nocciolificio due.

| Nocciolificio 2 Sala Confezionamento | Volume aspirato | Polvere | Concentrazione polveri respirabili |
|---|--------------------|------------|---------------------------------------|
| | litri | mg | mg/m ³ |
| | 152 | 0,2 | 1,32 |
| | 114 | 0,2 | 1,75 |
| | 114 | 0,1 | 0,88 |
| | | Media | 1,32 |
| | | Dev.Stand. | 0,44 |

Tabella 28 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato nella sala confezionamento del nocciolificio due.

| Nocciolificio 3 Sala Cernita | Volume aspirato | Polvere | Concentrazione polveri respirabili |
|---------------------------------|-----------------|------------|------------------------------------|
| | litri | mg | mg/m ³ |
| | 428,4 | 0,44 | 1,04 |
| | 433,5 | 0,31 | 0,70 |
| | 430,1 | 0,38 | 0,90 |
| | | Media | 0,88 |
| | | Dev.Stand. | 0,17 |

Tabella 29 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato nella sala cernita del nocciolificio tre.

| Nocciolificio 4 Sala Cernita | Volume aspirato | Polvere | Concentrazione polveri respirabili |
|---------------------------------|-----------------|------------|------------------------------------|
| | litri | mg | mg/m ³ |
| | 455,6 | 0,43 | 0,93 |
| | 443,7 | 0,44 | 0,98 |
| | 442 | 0,46 | 1,05 |
| | 589,6 | 0,42 | 0,72 |
| | 60,8 | 0,20 | 3,29 |
| | 129,2 | 0,10 | 0,77 |
| | 161,5 | 0,30 | 1,86 |
| | 138,7 | 0,10 | 0,72 |
| | | Media | 1,29 |
| | | Dev.Stand. | 0,89 |

Tabella 30 – Campionamento delle polveri respirabili effettuato nella sala cernita del nocciolificio quattro.

| | POLVERE CONCENTRAZIONI | | SILICE CONCENTRAZIONI | | SILICE |
|---------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|--------|
| | mg | mg/m ³ | mg | mg/m ³ | % |
| DATI DELLA RACCOLTA | | | | | |
| | 0,62 | 4,84 | 0,052 | 0,41 | 8,4 |
| | 0,17 | 0,67 | 0,025 | 0,10 | 15,0 |
| | 0,20 | 0,93 | 0,02 | 0,09 | 10,2 |
| | 1,05 | 4,63 | 0,022 | 0,10 | 2,1 |
| | 0,26 | 1,11 | 0,025 | 0,11 | 9,7 |
| | 0,35 | 1,42 | 0,024 | 0,10 | 6,9 |
| | 0,28 | 1,91 | 0,013 | 0,09 | 4,7 |
| | 0,12 | 0,80 | 0,01 | 0,07 | 8,6 |
| | 0,21 | 1,15 | 0,011 | 0,06 | 5,3 |
| | 0,67 | 3,63 | 0,059 | 0,32 | 8,9 |
| | 0,21 | 3,04 | 0,02 | 0,29 | 9,7 |
| MEDIA | | 2,19 | | 0,16 | |
| DEV. STANDARD | | 1,57 | | 0,12 | |

Tabella 31 – Quadro riassuntivo dei campionamenti effettuati, durante la raccolta, e delle concentrazioni di polvere (respirabile) e silice determinata.

| | POLVERE CONCENTRAZIONI | |
|-----------------------|------------------------|-------------------|
| | mg | mg/m ³ |
| DATI DEI NOCCIOLIFICI | 0,44 | 1,04 |
| | 0,31 | 0,70 |
| | 0,38 | 0,90 |
| | 0,43 | 0,93 |
| | 0,44 | 0,98 |
| | 0,46 | 1,05 |
| | 0,42 | 0,72 |
| | 0,77 | 3,00 |
| | 0,29 | 1,05 |
| | 0,29 | 1,09 |
| | 0,37 | 1,04 |
| | 0,40 | 3,83 |
| | 0,20 | 1,99 |
| | 0,20 | 1,75 |
| | 0,20 | 7,52 |
| | 0,40 | 3,83 |
| | 0,20 | 3,01 |
| | 0,20 | 1,62 |
| | 0,20 | 1,32 |
| | 0,20 | 1,75 |
| | 0,10 | 0,88 |
| | 0,20 | 3,29 |
| | 0,10 | 0,77 |
| | 0,30 | 1,86 |
| | 0,10 | 0,72 |
| MEDIA | | 1,87 |
| DEV. STANDARD | | 1,54 |

Tabella 32 – Quadro riassuntivo dei campionamenti effettuati, nei nocciolifici, e delle concentrazioni di polvere (respirabile) determinata.

6. 5 ANALISI DEI RISULTATI SULLE POLVERI

Come si evince dai dati riportati in tutte le prove eseguite ci sono stati casi, ad eccezione di due tipologie di macchine (tabelle 18 e 22), in cui i valori limite sono stati superati. Per quanto riguarda la frazione respirabile il valore più alto in assoluto ($6,36 \text{ mg/m}^3$, valore doppio rispetto ai limiti; tabella 21) è stato riscontrato con la macchina semovente Cimina 300, dotata di ciclone per l'abbattimento, su terreno inerbito. Mentre il valore più basso è stato riscontrato nel campionamento effettuato con la macchina semovente Cimina 200, anch'essa dotata di ciclone (tabella 20).

I valori rilevati riflettono, comunque, una certa variabilità dovuta alla diversità di situazioni che si riscontrano nella realtà lavorativa come quella in esame. Infatti oltre alla tecnica di raccolta, influiscono fattori come condizioni e caratteristiche del suolo e condizioni ambientali. A proposito di questo, bisogna ricordare che la stagione di raccolta 2006 è stata caratterizzata da condizioni atmosferiche particolarmente umide, rispetto alla norma, dovute alle diverse precipitazioni che si sono verificate proprio nel mese di settembre. In alcuni casi si sono eseguiti i campionamenti nei giorni successivi a tali eventi precipitosi. Questo potrebbe, almeno in parte, spiegare alcuni valori di concentrazioni così bassi, come quello sopra citato (tabella 20), nonostante il volume campionato (168,3 litri).

Bisogna, purtroppo, notare che non sempre valori della concentrazione di polveri respirabili bassi sono indice di maggiore sicurezza. Infatti come possiamo notare dalla tabella 24 in casi di valori abbastanza bassi di concentrazioni di polveri, al di sotto del valore limite, è stata ritrovata, sullo stesso filtro, la presenza di silice al di sopra dei valori limiti suggeriti dall'ACGIH.

Soltanto per fare un esempio a valori di concentrazioni delle polveri di $0,67 \text{ mg/m}^3$, ben lungi dal limite, sono stati riscontrati valori della concentrazione della silice di $0,10 \text{ mg/m}^3$, ben quattro volte superiore al valore limite (tabella 24).

Ancora, sempre nella stessa tabella, si può notare come, nel primo caso, vi sia una somma, per così dire, di effetti nocivi. Infatti, al valore, già alto ($4,84 \text{ mg/m}^3$), della frazione respirabile si somma quello altrettanto elevato della concentrazione della silice ($0,41 \text{ mg/m}^3$), tra l'altro il più elevato di tutti gli altri valori.

Possiamo inoltre, notare, per contro, che nel caso più elevato di concentrazione delle polveri respirabili ($6,36 \text{ mg/m}^3$) (tabella 21), non sia stata rilevata la presenza di silice.

In particolare sulla silice si possono fare altre considerazioni. E cioè: in tutti i casi in cui è stata rilevata ha dei valori superiori al limite, la stessa media lo rivela (tabella 24), inoltre in tabella 33 è stato calcolato il valore percentuale di silice accertata nei vari campionamenti, ebbene il valore più elevato rilevato è stato del 15%. Da notare come in questo caso, una bassa concentrazione di polvere, per lo meno al di sotto del valore limite, contenga invece un'alta "concentrazione" di silice. In altri lavori era già stata trovata la presenza della silice sulla frazione respirabile delle polveri [4].

In ogni modo la frazione respirabile, che è quella più pericolosa, è anche la più difficilmente eliminabile. Sicuramente i dispositivi di abbattimento delle polveri a ciclone sono insufficienti.

Per quanto riguarda i valori relativi ai campionamenti eseguiti nei nocciolifici, essenzialmente nella sala cernita, si può notare come questi siano abbastanza dispersi.

Ciò può dipendere, oltre che dalla differente struttura dei vari stabilimenti, per la diversa suddivisione dei vari ambienti (per esempio i valori della sala cernita di due diversi stabilimenti nelle tabelle 25 e 27) (sala cernita più o meno separata dagli altri locali); all'interno dello stesso stabilimento le differenze possono derivare dalle lavorazioni di "partite" diverse (più o meno "sporche") di prodotto che variano nel corso dell'anno, anche in base alla destinazione finale. (valori delle tabelle 25, 27, 30).

In quanto essendo il prodotto destinato a differenti lavorazioni, per esempio utilizzo della nocciola intera (come nel caso dei torroni) o utilizzo di granella e pasta di nocciola, la stessa selezione può essere più o meno curata.

Dalla tabella riassuntiva (tab. 32;) notiamo che il valore medio totale rientra tranquillamente nei valori limite. Controllando le singole tabelle notiamo che i valori medi della concentrazione delle polveri respirabili sono, ugualmente, sempre al di sotto del limite nelle sale cernita dei diversi nocciolifici (tabelle 25, 27, 29 e 30); valori medi più alti, proprio al limite ($2,82 \text{ mg/m}^3$), li troviamo nella tabella 27.

Per quanto riguarda invece le sale confezionamento in un caso (tabella 26) i valori sono al di sopra del limite (con valore medio di $4,97 \text{ mg/m}^3$), mentre nell'altro (tabella 28) siamo come valore medio al di sotto della metà del limite.

Anche per i campionamenti effettuati nei nocciolifici è stata eseguita l'analisi al diffrattometro. In nessun caso lo strumento ha rivelato la presenza di silice.

I riferimenti dei nocciolifici (uno, due, tre e quattro) sono gli stessi adoperati nelle tabelle per i valori fonometrici.

7 CONCLUSIONI

In questi ultimi trent'anni, circa, la raccolta delle nocciole, e quindi la relativa lavorazione, hanno subito notevoli miglioramenti tecnologici arrivando all'utilizzo di macchine semoventi che possono permettere la raccolta con l'impiego di un solo operatore. Le macchine maggiormente utilizzate nella zona del viterbese sono quelle monitorate nell'ambito del presente lavoro, con una particolare diffusione delle aspiratrici che, come abbiamo visto, in fase di raccolta sollevano una notevole quantità di polvere. Per cercare di ovviare a questo problema si è cercato, da una parte, di migliorare le macchine, con l'impiego dei dispositivi di abbattimento delle polveri: i cicloni (ma questi non sono sufficienti: si auspica nel miglioramento della loro efficacia). Ma, come possiamo notare dal grafico 1, le macchine dotate di cicloni raggiungono il valore limite di soglia previsto dalla normativa vigente o addirittura lo oltrepassano. Dall'altro sono state adottate diverse tecniche colturali, passando, molto spesso, da un terreno lavorato e rullato ad un terreno inerbito (tutti i casi monitorati erano di questo tipo) con pratino (quindi semplicemente trinciato prima dell'inizio della caduta a terra del frutto). I limiti di questo accorgimento consistono nella scarsa ricopertura erbosa nel periodo della raccolta (fine estate) o, per contro (in annate più piovose), alla presenza di un eccessivo strato di erba che a volte porta alla scelta di fare trattamenti con diserbanti.

A tale proposito, sarebbe interessante verificare la presenza di tali sostanze nelle polveri aerodisperse durante la raccolta. In letteratura sono state trovate tracce di endosulfan (pesticida utilizzato in corilicoltura) in tali polveri [4].

Dai risultati ottenuti possiamo affermare che esiste per i lavoratori l'effettiva presenza di rischio da esposizione alle polveri. Tali polveri sono nocive: come abbiamo visto dai dati, possono contenere silice libera cristallina in dimensioni respirabili che può causare malattie all'apparato respiratorio.

Le azioni preventive di difesa per limitare al minimo i rischi da esposizione a polveri nella raccolta delle nocciole devono essere, quindi, di diverso tipo ed attuate contemporaneamente.

In particolare, oltre a quelle già descritte, è bene adottare altre misure di prevenzione indossando i dispositivi di protezione individuale, quali occhiali e

mascherine antipolvere (del tipo FFP2 o FFP3, cioè facciale filtrante con protezione di grado 2 o 3 l'1 è ritenuto insufficiente per tale polverosità, con marcatura CE). In rari casi, tra quelli esaminati, è stato riscontrato l'utilizzo durante il lavoro dei DPI. Per questo potrebbero essere programmate campagne di sensibilizzazione sulla conoscenza dei rischi più spesso ignorati, o comunque, sottovalutati.

Come nel caso della mietitrebbiatura la cabina dotata di filtro ha ridotto notevolmente (97% [18]) la concentrazione di polvere aggiungendo comfort all'operatore; si può pertanto pensare ad un sorta di protezione anche nel caso della raccolta delle nocciole. Qui, data la difficoltà che si incontra, sia per il sesto d'impianto sia per la presenza di rami, non è utilizzabile una cabina tradizionale. Si può pensare, però, specialmente per le semoventi, ad una sorta di struttura protettiva trasparente che possa isolare il più possibile l'operatore, ma che gli permetta, allo stesso tempo, una totale visuale del terreno indispensabile durante le operazioni di raccolta.

Per quanto riguarda, invece, i nocciolifici si può suggerire, nel caso in cui ciò non sia già attuato, la fornitura dei dispositivi di protezione individuali e collettivi (sia per le polveri sia per il rumore) anche nel caso in cui non siano superati i valori limite previsti.

Per ciò che attiene al rumore, il datore di lavoro è tenuto, in base al D. Lgs. 277/91 ed al D. Lgs. 195/06, a ridurre il rumore alla fonte privilegiando all'atto di acquisto di nuove macchine o apparecchiature quelli che producano, nelle normali condizioni di funzionamento, il più basso livello di rumore. Si potrebbe suggerire, per gli stabilimenti visitati, di rinnovare i macchinari obsoleti con il duplice effetto di rispettare la normativa vigente e di effettuare un buon reinvestimento dei profitti nella linea di produzione. Si potrebbe, inoltre, limitare la propagazione delle onde sonore, isolando la sorgente sonora e utilizzando per le pareti degli ambienti di lavoro materiali fonoassorbenti; oppure limitare il tempo di esposizione del lavoratore, per esempio con diverse turnazioni.

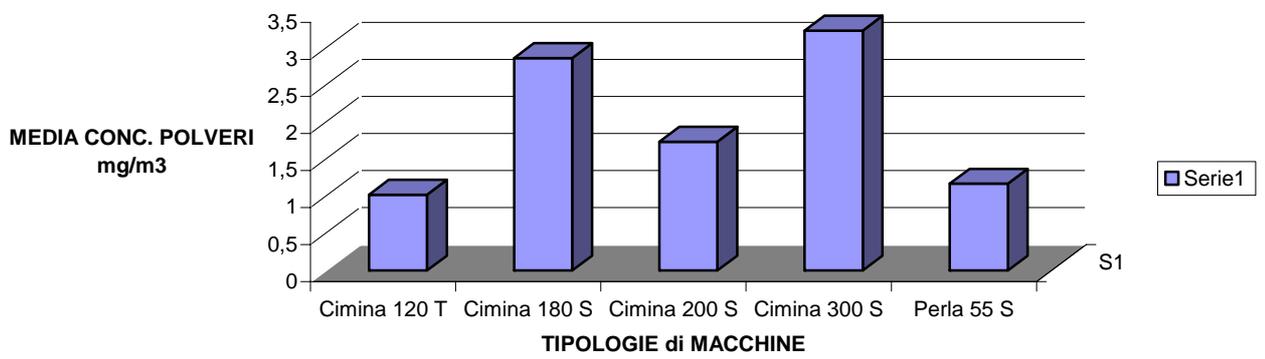


Grafico 1- Relazione tra le macchine monitorate ed il valore della concentrazione media delle polveri.

ALLEGATO A

UNIVERSITA DEGLI STUDI DELLA TUSCIA
DI VITERBO



RAPPORTO PRELIEVO INQUINANTE AERODISPERSO

SCHEDE N

DATA ORA inizio ORA fine

AZIENDA o DITTA

Campionatore Filtro N

Operatore Mansione

Durata del Prelievo

Flusso alla fine del campionamento

Volume finale

Osservazioni relative alle condizioni di lavoro e di prelievo

BIBLIOGRAFIA

- 1) American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH).
Traduzione italiana a cura del G. IG. IND. supp. vol. 30 (Gen. 2005).
- 2) BENI C., D'ANDREA S., PAGLIA G., Raccolta frutti da terra i certificati del
CONAMA. M & MA (1997) n. 9.
- 3) BENI C., IANNICELLI V., Le principali lavorazioni della frutta in guscio. M &
MA (1997) n. 9.
- 4) BIONDI P., MONARCA D., ZOPPELLO G., Il problema delle polveri nella
raccolta delle nocciole. M & MA-ima (1993) n. 4.
- 5) BIONDI P., MONARCA D., ZOPPELLO G., Il problema delle polveri nella
raccolta delle nocciole con macchine aspiratrici. Rivista di Ingegneria Agraria
(1992) n. 4.
- 6) BRIGNOLI G. Introduzione alla diffrattometria a raggi X. PHILIPS.
- 7) CAPORALE R., BISCEGLIA M., Le ipoacusie da rumore in ambito Inail,
Edizioni Inail 2003.

- 8) CECCHINI M., MONARCA D., Università degli Studi della Tuscia, Nozioni di Acustica. Testo del corso di Ergonomia e Antinfortunistica in Agricoltura (2002).

- 9) CECCHINI M., MONARCA D., Università degli Studi della Tuscia, Strumenti e tecniche di misura del rumore. Testo del corso di Ergonomia e Antinfortunistica in Agricoltura (2002).

- 10) CECCHINI M., Università degli Studi della Tuscia, Patologie da esposizione a polvere in ambiente agricolo. Testo del corso di Ergonomia e Antinfortunistica in Agricoltura (2002).

- 11) CROCICCHIA M., Università degli Studi della Tuscia, La meccanizzazione della coltura del nocciolo: dalla raccolta al post-raccolta. Tesi di Laurea (1993).

- 12) D. Lgs. 10 aprile 2006, n. 195 “Attuazione della direttiva 2003/10/CE relativa all’esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore). G. U. n. 124 del 30 aprile 2006.

- 13) D. Lgs. 15 agosto 1991, n. 27 “Attuazione delle direttive n. 80/1107/CEE, n. 82/605/CEE, n. 83/477/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro, a norma dell’art. 7 della legge 30 luglio 1990, n. 212”. G. U. n. 200 del 27 agosto 1991.

- 14) D. Lgs. 19 settembre 1994 n. 626 Attuazione delle direttive comunitarie 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE, 90/679/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro. G. U. n. 141 del 12 novembre 1994.

- 15) D. Lgs. 2 febbraio 2002, n. 25 “Attuazione della direttiva 98/24/CE sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro. G. U. n. 57 del 8 marzo 2002.

- 16) NATALETTI P., Quel rumore è pericoloso. Ecco le nuove norme da rispettare. Ambiente & Sicurezza sul Lavoro (2006) n. 7/8.

- 17) REGIONE TOSCANA, Linee guida nell’esposizione professionale a silice libera cristallina. Dicembre 2005.

- 18) ROMA R., Università degli Studi della Tuscia, Il rischio da esposizione a polveri in alcune lavorazioni agricole: indagine sperimentale e metodologica, Tesi di Laurea (1999/2000).

- 19) ROSCELLI F., FERRARI M., FERRARI D., Decreto legislativo 195/2006: cosa cambia per il medico competente, Atti del Convention Nazionale “Rumore, Vibrazioni” Modena 12 ottobre 2006.

- 20) SALA C., MARCONI A., FABRIZI G., SCIBELLI A M., CAMPOPIANO A., RAMIRES D., COTTICA D., La misurazione delle polveri

aerodisperse: la situazione attuale ed i problemi emergenti, Atti del Convention Nazionale “Il rischio chimico nei luoghi di lavoro”. Modena 13 ottobre 2006.

RINGRAZIAMENTI

Il mio ringraziamento più sentito lo devo al Prof. Danilo Monarca, docente all'Università degli Studi della Tuscia facoltà di Agraria, persona ammirevole, che mi ha consentito il raggiungimento di questo ulteriore obiettivo; ed ai suoi collaboratori in particolare il Dottr. Cecchini Massimo ed il Sig. Colopardi Francesco.

Un ringraziamento particolare desidero farlo al Laboratorio di Igiene Industriale del Dipartimento di Prevenzione dell'Azienda Sanitaria Locale di Viterbo nella persona del Dott. Cavariani Fulvio, che mi ha permesso di accedere al laboratorio e di utilizzare tutta la strumentazione necessaria allo svolgimento della presente, ed ai suoi collaboratori in particolare al Dott. De Rossi Marcello per il suo contributo tecnico e per la sua totale disponibilità.

Ringrazio tutti coloro che hanno contribuito alla realizzazione della presente, comprese le ditte dove ho eseguito i campionamenti.

Voglio inoltre ringraziare la mia famiglia, per avermi incoraggiato e sostenuto verso questo traguardo, e quanti mi sono stati vicini, anche solo moralmente in questo ulteriore periodo di prova.

Grazie.