



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE PER L'AGRICOLTURA, LE FORESTE, LA
NATURA E L'ENERGIA**

Corso di Dottorato di Ricerca in

Ingegneria dei Sistemi Agrari e Forestali - XXVI Ciclo.

Particolato aerodisperso da attività agroforestali e sistemi di contenimento

Settore scientifico AGR/09

Tesi di dottorato di:

Dott. Pietro Gallo

Coordinatore del corso

Prof. Massimo Cecchini

.....

Tutore

Prof. Danilo Monarca

.....

Co-tutore

Dott. Marcello Biocca

.....

23 giugno 2014

*“Il metodo del successo
consiste in larga misura
nel sollevamento della
polvere”*

**Luciano Bianciardi,
La vita agra, 1962**

LE MALATTIE DEI VAGLIATORI E DEI MISURATORI DI GRANI

Tutti i grani e specialmente il frumento, sia conservati in cisterne o in fosse, come si usa in Toscana, sia nei granai e nelle soffitte delle case, come in quasi tutta la regione al di qua e al di là del Po, sono sempre mescolati ad una polvere sottilissima, costituita non solo da quella prodotta sull'aia durante la trebbiatura ma anche da un'altra, più pericolosa, prodotta dagli stessi grani quando sono conservati a lungo. Dato che i semi dei cereali sono ricchi di sale volatile, se vengono conservati senza esser stati prima ben seccati al sole estivo, si surriscaldano in brevissimo tempo o si polverizzano e, dalla cortecchia che li riveste, si staccano particelle piccolissime. A queste si aggiunge un residuo di polvere e la carie dei grani prodotta dal rosicchiare delle tignole, delle tarme, dei punteruoli e di altri parassiti e inoltre i loro escrementi. I lavoratori che devono setacciare il frumento ed altri grani da macinare, o pesarli quando vengono trasportati dai commercianti in un posto o in un altro, sono gravemente danneggiati da queste polveri, tanto che, terminato il loro lavoro, lo maledicono con mille imprecazioni. Gli organi maggiormente colpiti sono la gola, i polmoni e gli occhi; la gola si riempie di quelle polveri e si inaridisce, le vie bronchiali s'incrostano di sostanza polverosa che produce una tosse secca e stizzosa, gli occhi si infiammano visibilmente e lacrimano. Quasi tutti i lavoratori, sia cernitori che misuratori che vivono svolgendo questa attività, sono cachettici e di rado raggiungono la vecchiaia, anzi molto facilmente si ammalano di asma e di idropisia. In effetti quelle polveri possiedono una tale forza corrosiva da provocare un forte prurito per tutto il corpo, come talvolta si osserva in associazione a certe eruzioni della pelle.

Estratto da Il "De morbis artificum diatriba" di Bernardino Ramazzini (medico del lavoro- Carpi, 3 novembre 1633 - Padova, 5 novembre 1714)

Indice

Indice.....	4
Sommario.....	6
SUMMARY.....	6
Introduzione.....	8
Normativa e parametri di riferimento	10
Valori limite di soglia.....	27
Polveri in agricoltura	33
1. Polvere costituita da particelle di terreno sollevate durante l'esecuzione di lavorazioni del terreno, semina e raccolta.....	34
2. Polveri da abrasione, contenenti residui di fitofarmaci, generate nell'utilizzo di semi concitati e di materiali granulari e in polvere.	34
3. Polveri derivanti dalla distribuzione di fitofarmaci in forma polverulenta, per la protezione delle colture.	35
4. Polveri derivanti dalla lavorazione di prodotti ligno-cellulosici per vari usi, come lavorazione del legname da opera e per uso energetico (trinciatura) e polveri da legno derivanti dalle cure colturali alle piante arboree.....	35
5. Polveri derivanti dalle attività zootecniche.....	35
Cenni sulle principali patologie per esposizioni a polveri	38
Polveri organiche	38
Polveri inorganiche	39
PARTE SPERIMENTALE	41
Introduzione: gli scenari oggetto di studio	42
Materiali e metodi	42
Materiali e metodi comuni alle diverse sperimentazioni	43
Campionatori d'aria per il monitoraggio ambientale	44
Campionatori per il monitoraggio personale.....	46
Teste di taglio, preselettori, portafiltri.	47
Filtri	49
Altri materiali	54
Scenario 1. Particolato aerodisperso derivante da abrasione di semente di mais conciata con insetticidi.....	55
Materiali e metodi	61
Seminatrici	61

Sistema di prove a punto fisso	62
Prove in campo	65
Risultati relativi alle prove di simulazione della semina a punto fisso	67
Risultati dei test a punto fisso sulle seminatrici modificate con i dispositivi di contenimento della deriva (valutazione delle polveri totali prodotte).	70
Risultati relativi alle prove di campo.....	71
Risultati relativi all'esposizione dell'operatore.....	72
Scenario 2- La raccolta meccanizzata delle nocciole	75
Primo prototipo.....	77
Secondo prototipo	80
Modifiche al secondo prototipo.....	87
Discussione sui risultati e conclusioni	89
Scenario 3 – Abbattimento, cippatura e stoccaggio in un impianto di pioppo (Populus×canadensis Mönch- Neva) (un'analisi degli aerodispersi).....	91
Abbattimento	95
Risultati	97
Cippatura.....	98
Cippatura del legno fresco	99
Cippatura del legno parzialmente essiccato	101
Discussione dei risultati delle operazioni di cippatura	103
Movimentazione dei cumuli di cippato.....	104
Conclusioni	105
Riflessioni finali e conclusioni	107
Elenco pubblicazioni del periodo di dottorato.....	108
Bibliografia citata	111
Bibliografia consultata	118
Ringraziamenti	120

Sommario

L'attenzione sempre crescente al miglioramento dell'ambiente di lavoro, vede la ricerca scientifica sempre più impegnata su questi temi. Anche l'ambiente di lavoro agricolo e forestale, essendo scenario di infortuni e malattie professionali, si configura come settore da studiare e sorvegliare con attenzione. Tra i fattori di rischio, vanno annoverate le polveri, prodotte durante diverse fasi dei lavori agroforestali. Le dimensioni ridotte e le caratteristiche del particolato aerodisperso, possono infatti costituire un pericolo per gli operatori, per gli astanti e per l'ambiente.

Nei tre anni di attività di ricerca del Dottorato, ho seguito alcuni progetti di analisi e campionamento del particolato aerodisperso, proveniente da: 1) polveri di abrasione derivanti dal mais conciato; 2) polveri derivanti dal terreno sollevato durante la raccolta delle nocciole con macchine dedicate; 3) polveri di legno generate durante la trasformazione di un pioppeto in cippato ad uso energetico.

Per i primi due sono stati anche previsti dei sistemi di abbattimento per le polveri e confrontati i prototipi con le macchine tal quali.

La sperimentazione è stata incentrata sul contributo alla produzione di polveri dato dalle attrezzature impiegate nelle varie operazioni.

I risultati costituiscono un contributo alla conoscenza dei rischi collegati al particolato aerodisperso in agricoltura.

Parole chiave: polveri, particolato, abbattimento, campionamento, seminatrici, insetticidi, noccioleto, raccoglitrice, pioppeto, biomassa.

SUMMARY

AIRBORNE PARTICULATE MATTER FROM AGROFORESTRY AND MITIGATION ENGINEERING DEVICES.

In recent years, an increasing consciousness about work safety has more and more involved the scientific research on this topic. The agroforestry sector shows the occurrence of professional diseases and accidents, requiring the necessity of studies and devoted researches. Among health risk factors we have to

include the dust, that is generated during different agroforestry operations. The small size and the characteristics of the airborne particulate, can cause a serious harm to workers, to bystanders and to the environment.

During the three-year of doctoral activity, I have carried out the sampling and the analysis of dusts coming from the three following scenarios: 1) abrasion dust coming from dressed maize seed; 2) soil dust generated during hazel-nuts mechanical harvesting; 3) wood dust from the utilization of poplar wood as energy source.

In the first two projects, an evaluation of innovative devices for dust reduction was also carried out.

The experiments have been mainly focused on the contribution of machinery to dust production and dissemination. The results can contribute to a better knowledge of risk factors associated to airborne particulate in agroforestry activity.

Keywords: dust, particulate, mitigation, sampling, drills, insecticides, hazelnut, harvesting, poplar, biomass.

Introduzione

La polvere è definita come :

Insieme di minutissime particelle incoerenti (detriti, terra arida, sabbia ecc.), che si stende sul suolo e, sollevato facilmente dal vento, si deposita ovunque. Per estensione, ogni materiale che, per sua natura o perché sia stato finemente suddiviso, mediante una macinazione spinta, si presenta in particelle solide che in massa non assumono forma propria (Da enciclopedia Treccani on line).

Nell'ambito della terminologia scientifica di uso comune, poi, esistono diversi sinonimi ed integrazioni del termine per riferire le polveri alle loro dimensioni, al mezzo in cui sono disperse oltre che alla attività da cui sono generate. Si distinguono, così, particolato, particolato sospeso, pulviscolo atmosferico, polveri sottili, polveri totali sospese, che sono termini che identificano comunemente l'insieme delle sostanze solide o liquide sospese in aria o in altro gas.

I particolati dispersi nell'atmosfera sono di diversa origine, sia naturale sia antropogenica. Le sorgenti naturali più importanti sono le polveri, i vulcani, gli incendi boschivi e lo spray marino. I particolati originati dalle attività umane attualmente ammontano a ca. il 10% della quantità totale e derivano principalmente dall'uso dei combustibili fossili nei veicoli e nelle centrali di produzione elettrica. La classificazione del particolato atmosferico è generalmente fatta in termini di diametro aerodinamico. Una particella con un diametro aerodinamico di 1 micron ($1\mu\text{m}$) si muove nell'aria come una sfera di densità $1\text{g}/\text{cm}^3$ di diametro pari a $1\mu\text{m}$. La notazione comunemente usata PM_{10} (particulate matter) indica il particolato di diametro aerodinamico inferiore o uguale a $10\mu\text{m}$, e analogamente per $\text{PM}_{2,5}$ ($\leq 2,5\mu\text{m}$) e PM_1 ($\leq 1\mu\text{m}$). Le particelle di diametro inferiore a 100 nm ($\leq 0,1\mu\text{m}$) sono dette particolato ultrafine (UFP, Ultra Fine Particles).

Il particolato aerodisperso è un fattore implicato in numerosi processi naturali e antropici. Tutti i particolati assorbono e diffondono la luce solare, in percentuali che dipendono dal tipo di sostanze che li compongono, e possono

dunque avere un effetto sul clima cambiando la trasmissività dell'atmosfera alla radiazione solare. L'effetto complessivo in termini di riscaldamento o raffreddamento non è però ancora chiaro a causa della complessità delle interazioni in gioco e del diverso comportamento dei vari tipi di particolato.

Meno controverso è l'effetto sulla salute umana. Da questo punto di vista la principale discriminante è costituita dalle dimensioni del particolato: le particelle più grandi sono filtrate nel naso e nel primo tratto dell'apparato respiratorio, e non causano danni importanti. Le particelle più piccole (PM_{10} e inferiori) riescono a raggiungere i bronchi, mentre l'UFP può passare dai polmoni all'organismo. L'inalazione di particolato è stata collegata statisticamente a un aumento dell'incidenza di asma, cancro ai polmoni e malattie cardiovascolari.

Oltre alla loro composizione chimica, in base alla quale possono essere distinte in organiche e inorganiche, i parametri più importanti impiegati per definire le caratteristiche delle polveri sono la concentrazione e la granulometria.

Per concentrazione si intende la quantità di particelle in sospensione in 1 m^3 di aria; generalmente viene espressa in mg/m^3 (massa in mg delle particelle solide contenute in 1 m^3 di aria), in $\mu g/m^3$, in ppm (parti per milione: volume delle particelle contenute in 10^6 unità di volume) e in pp/cm^3 (numero di particelle contenute in 1 cm^3 di aria). La granulometria indica le dimensioni delle particelle.

Maggiore rilevanza ha però, nello studio della pericolosità per inalazione, la caratterizzazione delle polveri respirabili in funzione del loro diametro aerodinamico. Questo rappresenta il diametro di una sfera di massa volumica unitaria ($1 g/cm^3$) che nel campo gravitazionale ha un comportamento identico a quello della particella in esame (stessa velocità terminale di sedimentazione).

Le PM_{10} (con diametro aerodinamico inferiore a $10 \mu m$) rappresentano le polveri in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio; mentre le $PM_{2,5}$ rappresentano le polveri in grado di penetrare nel tratto inferiore dell'apparato respiratorio (alveoli polmonari).

Normativa e parametri di riferimento

Negli ultimi anni l'attenzione alla salute umana e soprattutto a quella delle persone coinvolte nei processi di produzione e trasformazione, dunque, dei lavoratori in generale, è andata man mano aumentando.

Di pari passo, la normativa, si arricchisce di sempre nuove disposizioni in materia di polveri, particolato, sospensioni, gas.

Nel tempo sono cresciute le tipologie di aerodispersi che possono entrare a contatto con gli operatori, ma sono migliorate, contemporaneamente, le conoscenze tecnologiche e l'innovazione ha portato alla produzione di strumenti dedicati sempre più precisi ai fini dello studio delle polveri. La legislazione, di conseguenza, ha potuto, in pochi anni, sempre più affinare una produzione di norme che inquadrano sempre meglio il problema, forniscono metodi, indirizzi sulla strumentazione, i materiali e i parametri per possibili indagini.

I primi passi verso un inquadramento del problema e la scelta dei conseguenti parametri da rispettare si è avuto a partire dagli anni '50 (La normativa precedente era specifica per alcuni elementi).

Nel 1956 il DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 19 marzo, **n. 303** stabiliva le "Norme generali per l'igiene del lavoro" ponendo attenzione in diversi articoli alla salubrità dei luoghi e alle loro condizioni. Così all'articolo 9 si parla di "aerazione dei luoghi di lavoro chiusi" e al 18 di "difesa dalle sostanze nocive". Nell'articolo 20 (difesa dell'aria dagli inquinamenti con prodotti nocivi) si legge: .. *"un'attrezzatura di lavoro che comporta pericoli dovuti ad emanazione di gas, vapori o liquidi ovvero ad emissioni di **polvere**, deve essere munita di appropriati dispositivi di ritenuta ovvero di estrazione vicino alla fonte corrispondente a tali pericoli"*.

L'articolo 21 titola specificatamente *"difesa contro le polveri"* e vi si legge: *"nei lavori che danno luogo normalmente alla formazione di polveri di qualunque specie, il datore di lavoro è tenuto ad adottare i provvedimenti atti ad impedirne o a ridurne per quanto è possibile, lo sviluppo e la diffusione nell'ambito di lavoro,*

nell'ambiente di lavoro. Le misure da adottare a tal fine devono tenere conto della natura delle polveri e della loro concentrazione nella atmosfera".

Il medesimo decreto, inoltre, riporta una tabella delle lavorazioni per le quali vige l'obbligo delle visite mediche preventive e periodiche e tra queste la maggior parte con frequenza annuale riguarda l'esposizione a polveri di diversi elementi.

Un'altra pietra importante nella costruzione della struttura normativa viene posta nel 1983 con il **D.P.C.M. 28 marzo** "Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno", che, come si legge nell'articolo 1, *"fissa i limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e i limiti massimi di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno ed i relativi metodi di prelievo e di analisi al fine della tutela igienicosanitaria delle persone o comunità esposte"*.

Nell'allegato II fissa i metodi di prelievo e di analisi degli inquinanti dell'aria, e nelle appendici I e II stabilisce i materiali e i metodi di campionamento, costituendo così una linea guida sull'uso di membrane filtranti e porosità ed altri sistemi di campionamento, ma anche su pompe volumetriche per l'aspirazione e campionatori. Inoltre sono indicati i modi di campionamento, di disposizione fisica dei filtri, il loro trattamento e la loro successiva analisi. Si configura così come una vera e propria "norma tecnica".

Nel 1988 il **DPR 203** e successive modifiche ed integrazioni disciplinavano le emissioni in atmosfera di tutti gli impianti industriali di produzione di beni o servizi, compresi quelli di imprese artigiane di cui alla legge 8 agosto 1985, n. 443, e quelli di pubblica utilità.

Tale decreto assumeva quale sua finalità generale la tutela della qualità dell'aria con l'obiettivo della protezione della salute umana e dell'ambiente. Questo decreto, inoltre, abbassava il livello massimi consentiti per tutti i macroinquinanti. Stabiliva valori di emissione e valori limite di emissione per nuovi impianti e dava indicazioni sui metodi di campionamento.

Il decreto numero 51 del 12 luglio 1990 definisce le *"linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei*

valori minimi di emissione” e all’ articolo 1 (finalità) stabilisce tra le altre cose, i valori di emissione minimi e massimi per gli impianti esistenti, i metodi generali di campionamento, analisi e valutazione delle emissioni, i criteri per l'utilizzazione di tecnologie disponibili per il controllo delle emissioni.

Disciplina, dunque, la metodologia di campionamento, le sostanze da campionare, gli adeguamenti per gli impianti esistenti ed indica le tecnologie utilizzabili per l’abbattimento delle polveri, dei gas o dei liquidi prodotti.

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) è la prima legge italiana in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti dall’esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro. Vi vengono definiti di campionamento, polveri, fumo, nebbia, frazioni. Forniva, inoltre, 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.

Nel 1994 viene pubblicata la norma **UNI-EN 481**. È una norma di riferimento fondamentale per quello che riguarda l’argomento polveri, una pietra miliare alla quale le norme successive spesso si rifaranno e guida assolutamente non trascurabile per chiunque voglia occuparsi di particolato aerodisperso.

Il nocciolo che la rende talmente importante è espresso chiaramente nel titolo della norma stessa : “Atmosfera nell’ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse”. La norma, infatti, fa chiarezza sugli aspetti propriamente tecnici e definatori del particolato. In particolare vengono descritte e chiarite le definizioni di frazione granulometrica delle particelle, di diametro aerodinamico e delle convenzioni di campionamento (inalabili, toraciche e respirabili).

Importanti, dunque, anche ai fini di questa ricerca i parametri definiti dalla EN 481, riassunti nella tabella e nel grafico seguenti, che chiariscono gli ambiti del lavoro in fatto di polveri definendo in maniera chiara e quasi univoca le frazioni

granulometriche delle particelle e la conseguente loro collocazione in convenzioni specifiche in funzione del loro diametro aerodinamico.

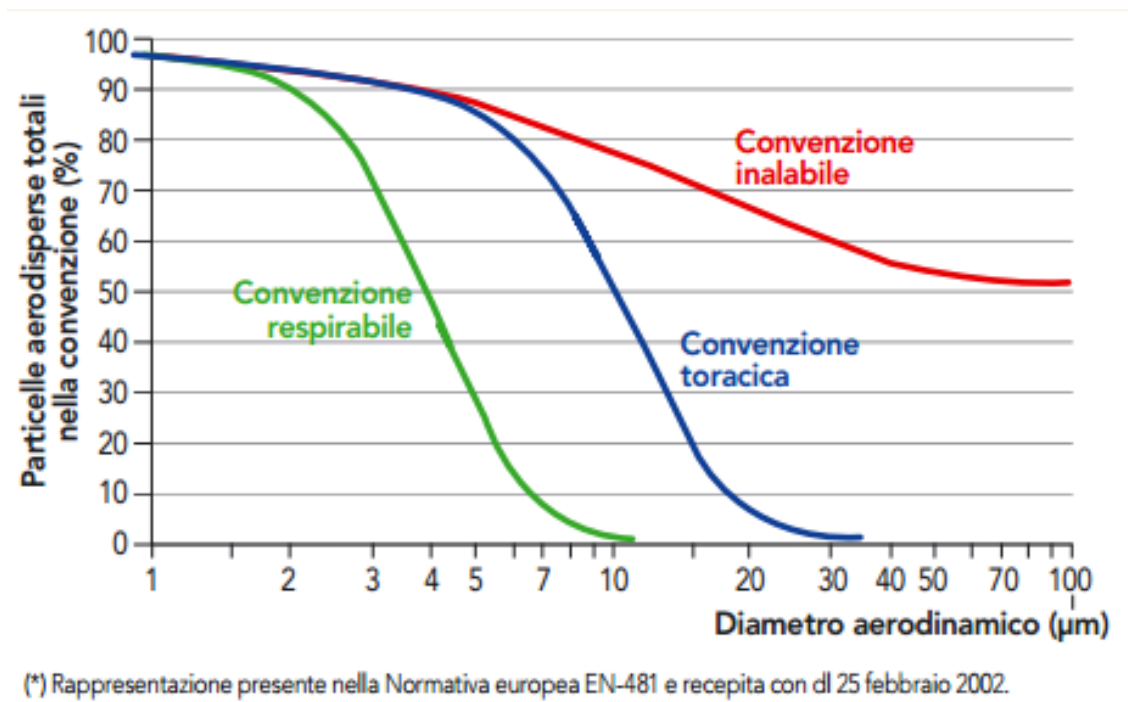


Grafico 1. Le convenzioni inalabile, toracica e respirabile come percentuale delle particelle aerodisperse totali (da UNI:EN 481 modificato).

Come percentuale dell'inalabile				Come percentuale del totale			
Diametro aero- dinamico D μm	Convenzione inalabile E_I %	Convenzione toracica E_T %	Convenzione respirabile E_R %	Convenzione inalabile E_I %	Convenzione toracica $E_T \times E_I$ %	Convenzione respirabile $E_R \times E_I$ %	Diametro aero- dinamico D μm
0	100	100	100	100	100	100	0
1	100	100	100	97,1	97,1	97,1	1
2	100	100	96,8	94,3	94,3	91,4	2
3	100	100	80,5	91,7	91,7	73,9	3
4	100	99,6	55,9	89,3	89,0	50,0	4
5	100	98,1	34,4	87,0	85,4	30,0	5
6	100	94,9	19,8	84,9	80,5	16,8	6
7	100	89,5	10,9	82,9	74,2	9,0	7
8	100	82,2	5,9	80,9	66,6	4,8	8
9	100	73,7	3,2	79,1	58,3	2,5	9
10	100	64,6	1,7	77,4	50,0	1,3	10
11	100	55,5	0,9	75,8	42,1	0,7	11
12	100	47,0	0,5	74,3	34,9	0,4	12
13	100	39,3	0,3	72,9	28,6	0,2	13
14	100	32,4	0,2	71,6	23,2	0,2	14
15	100	26,6	0,1	70,3	18,7	0,1	15
16	100	21,6	0,1	69,1	15,0	0	16
18	100	14,1	0	67,0	9,5		18
20	100	9,1		65,1	5,9		20
25	100	3,0		61,2	1,8		25
30	100	1,0		58,3	0,6		30
35	100	0,3		56,1	0,2		35
40	100	0,1		54,5	0,1		40
50	100	0		52,5	0		50
60	100			51,4			60
80	100			50,4			80
100	100			50,1			100

Tabella 1. Valori numerici delle convenzioni, espressi come percentuali della convenzione inalabile o delle particelle aerodisperse totali (da UNI: EN 481)

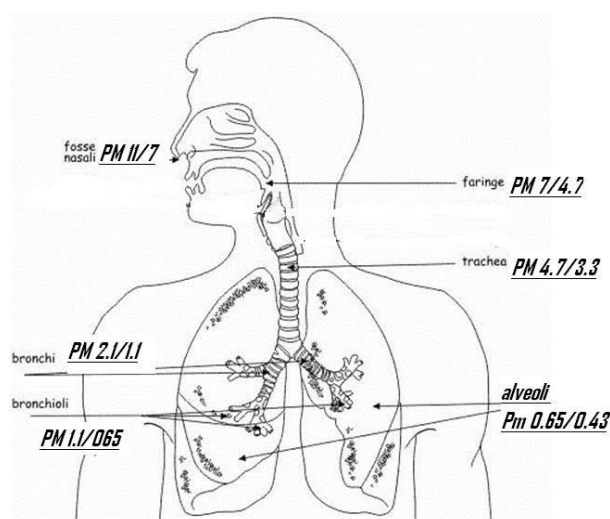


Figura 1. Schematizzazione della penetrazione delle particelle nel sistema respiratorio in funzione del loro diametro (in micron).

Il 1994 è anche l'anno del D. Lgs. 626 che "prescrive misure per la tutela della salute e per la sicurezza dei lavoratori durante il lavoro, in tutti i settori di attività privati o pubblici".

Il decreto stabilisce le misure generali di tutela che devono essere obbligatoriamente messe in atto da parte del datore di lavoro (soggetto definito all'Art.2), senza comportare, in ogni caso, oneri finanziari per i lavoratori. Tra tali aspetti particolare importanza rivestono quelli sintetizzati nei seguenti punti (Art.3):

- valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza;
- eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non è possibile, la loro riduzione al minimo;
- riduzione dei rischi alla fonte;
- utilizzo limitato degli agenti chimici, fisici e biologici, sui luoghi di lavoro;

La norma obbliga pertanto il datore di lavoro a valutare i rischi per la sicurezza e per la salute dei lavoratori, compresi quelli riguardanti i gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari. In questa analisi deve tenere conto delle attrezzature di lavoro e delle sostanze o dei preparati chimici impiegati, nonché della sistemazione dei luoghi di lavoro.

Al capo IV (sorveglianza sanitaria) l'articolo 16 cita:

1. La sorveglianza sanitaria è effettuata nei casi previsti dalla normativa vigente.

2. La sorveglianza di cui al comma 1 è effettuata dal medico competente e comprende:

a) accertamenti preventivi intesi a constatare l'assenza di controindicazioni al lavoro cui i lavoratori sono destinati, ai fini della valutazione della loro idoneità alla mansione specifica;

b) accertamenti periodici per controllare lo stato di salute dei lavoratori ed esprimere il giudizio di idoneità alla mansione specifica.

3. Gli accertamenti di cui al comma 2 comprendono **esami clinici e biologici e indagini diagnostiche mirati al rischio ritenuti necessari dal medico competente.**

All'articolo 61 definisce gli agenti cancerogeni, ma non definisce le concentrazioni limite.

Il **Decreto Ministeriale del 25 novembre 1994**, fissa i livelli di qualità del particolato, e introduce il concetto di PM₁₀.

Anche la “**direttiva macchine**”, (Decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1996, n. 459 Regolamento per l'attuazione delle direttive 89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE e 93/68/CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine), per ciò che riguarda gli inquinanti aerodispersi, sancisce alcuni principi che devono essere rispettati dai costruttori europei di macchine, pena la non omologazione di quest'ultime.

All' allegato I, infatti, il punto 1.5.13. (Rischi dovuti alle emissioni di polvere, gas, ecc.), riporta: “*La macchina deve essere progettata, costruita e/o equipaggiata in modo tale da evitare i rischi dovuti a gas, liquidi, polveri, vapori ed altri residui prodotti. Se il rischio esiste, la macchina deve essere equipaggiata in modo tale da poter captare e/o aspirare i suddetti prodotti. Se la macchina non è chiusa durante il normale funzionamento, i dispositivi di captazione e/o di aspirazione di cui al comma precedente devono essere situati il più vicino possibile al luogo di emissione*”.

La norma **UNI 689** del 1997 è la versione italiana della norma europea EN 689 edita nel febbraio del 1995 e fornisce le indicazioni per la valutazione dell'esposizione ad agenti chimici nelle atmosfere dei posti di lavoro, proponendo una strategia per confrontare l'esposizione per inalazione degli addetti con i rispettivi valori limite e la strategia di misurazione.

La norma ha lo scopo di assicurare la rappresentatività dei risultati al costo più contenuto possibile, fornendo schemi ed indicazioni per armonizzare i concetti fondamentali e gli interventi. Infatti nell'ambito dei processi esaminati, si possono presentare numerose condizioni, ognuna diversa dalle altre, a causa della vasta gamma di sostanze chimiche impiegabili, della diversità dei processi, dalla distanza dalle fonti di emissione e dai parametri fisici, quali velocità di emissione, corrente d'aria, variazioni meteorologiche etc. Tale variabilità è resa maggiore anche dai comportamenti individuali e tutto ciò spiega il perché delle rapide fluttuazioni delle concentrazioni di sostanze contaminanti o ampie variazioni su distanze molto piccole. Pertanto il momento e la durata della campionatura sono decisivi.

Altro passaggio molto importante è quello in cui si definiscono diversi parametri che entrano in gioco durante i campionamenti tra questi:

- Il posto di lavoro è l'area o le aree definite in cui si svolgono le attività lavorative;
- Valore limite, o meglio il valore di riferimento per la concentrazione nell'aria di un agente chimico.
- I valori limite sono per lo più stabiliti per periodi di riferimento di 8 h, tuttavia possono anche essere fissati per periodi o per escursioni di concentrazione più brevi. I valori limite per gas e vapori sono espressi in termini indipendenti dalle variabili di temperatura e pressione dell'aria in ml/m^3 , (ppm V/V) e in termini dipendenti da queste variabili in mg/m^3 per una temperatura di 20°C e una pressione di 101,3 kPa. I valori limite per sostanze in sospensione sono espressi in mg/m^3 o Il posto di lavoro è l'area o le aree definite in cui si svolgono le attività lavorative;
- Il periodo di riferimento, cioè il periodo di tempo specificato per il valore limite di un agente specifico. Il periodo di riferimento per un limite a lungo termine è in genere di 8 h e per un limite a breve termine va da 10 a 15 minuti;
- Il campionatore personale (o dispositivo di campionamento personale) è un dispositivo applicato alla persona che raccoglie campioni di aria nella zona di respirazione.

La norma **UNI ISO 7708:1998** definisce i criteri di campionamento per le frazioni granulometriche delle particelle che devono essere utilizzate per valutare i possibili effetti sanitari derivanti dall'inalazione di particelle aerodisperse nei luoghi di lavoro e nell'ambiente in generale. Essa definisce le convenzioni per le frazioni inalabili, toraciche e respirabili; le frazioni extratoraciche e tracheobronchiali che possono essere calcolate dalle convenzioni definite.

La direttiva 1999/38/CE del Consiglio del 29 aprile 1999 modifica per la seconda volta la direttiva 90/394/CEE sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni durante il lavoro, estendendola agli agenti mutageni.

Parallelamente a normative più specificatamente "tecniche", anche le normative di carattere generale sulla qualità dell'aria e sull'inquinamento atmosferico hanno seguito il percorso del progresso tecnico-scientifico e la aumentata sensibilità alle tematiche della salute pubblica e degli ecosistemi.

Con il decreto legislativo del **4 agosto 1999 n. 351** il legislatore nazionale recepiva la direttiva quadro n. 96/62/CE del 27 settembre 1996 sulla qualità dell'aria ambiente, definendo i principi di base di una strategia per la qualità dell'aria imperniata su alcuni principi fondamentali precisando il contesto generale di applicazione ed individuando gli inquinanti sui quali intervenire con priorità. Tale decreto modificava, in attuazione dei principi della direttiva n.96/62/CE, la legislazione dell'epoca in vigore in Italia sulla qualità dell'aria, prevedendo la progressiva abrogazione, in particolare, della disciplina dettata dal **D.P.R. n. 203/1988** e dai suoi decreti attuativi. Rimanevano comunque in vigore, in via transitoria fino all'emanazione dei decreti attuativi delle direttive figlie, i valori limite, i valori guida, i livelli di attenzione e di allarme, gli obiettivi di qualità, i livelli per la protezione della salute e della vegetazione previsti dalla normativa attuale. Nella definizione legislativa di inquinamento atmosferico, veniva introdotta per la prima volta la nozione di *"alterazione delle risorse biologiche e degli ecosistemi"*, che si aggiungeva a quelle più tradizionali della modifica delle *"normali condizioni ambientali e di salubrità dell'aria"* del pericolo o pregiudizio

per la salute dell'uomo, della compromissione degli usi legittimi dell'ambiente e dei beni materiali pubblici e privati (art.2 n.1, D.P.R. n.203/1988): si passava così da una disciplina orientata in modo prevalente alla protezione della salute umana, ad un intervento omnicomprensivo, che prendeva in considerazione anche la tutela delle risorse naturali e dell'equilibrio ecologico.

Il decreto legislativo del 25 febbraio 2000, n.66, attua le direttive 97/42/CE e 1999/38/CE che modificano la direttiva 90/394/CEE in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro.

Aspetto importante, riguardante questo decreto, è la modifica dell'Art. 62, Comma 3 del decreto legislativo 626, con il periodo "L'esposizione non deve comunque superare il valore limite dell'agente stabilito nell'allegato VIII-bis". L'importanza di tale affermazione sta nel fatto che per la prima volta, nella legislazione italiana, l'esposizione personale agli agenti cancerogeni è considerata in termini di valore limiti di soglia, cioè di concentrazione che non deve essere superata nel corso della giornata lavorativa che al massimo può assumere un valore di 8 ore/giorno oppure 40 ore/settimana.

Altra modifica rilevante rispetto alla 626, riguarda l'articolo 63, comma 2, con l'aggiunta del seguente periodo: "la valutazione deve tener conto di tutti i possibili modi di esposizione, compreso quello in cui vi è assorbimento cutaneo".

Per le polveri di legni duri fissa **il valore limite di soglia a 5 mg/m³** (frazione inalabile)

"misurato o calcolato per un periodo di riferimento di 8 ore, da adottare anche in presenza di qualsiasi miscela di povera di legno contenente legno duro." facendo riferimento alla monografia IARC (International Agency for Research on Cancer) per un elenco dei legni duri e imponendo agli stati membri di conformarsi entro il 29 aprile 2003.

La norma **UNI EN 482** del 2000 stabilisce i modi di "Determinazione del particolato in sospensione PM₁₀" – fornendo un "Metodo di riferimento e

procedimento per prove in campo atte a dimostrare l'equivalenza dei metodi di misurazione rispetto al metodo di riferimento".

É la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 482, approvata dal CEN il novembre 1998. Specifica le prestazioni degli strumenti di prelievo PM₁₀ al fine di armonizzare il monitoraggio nell'ambito della Direttiva 96/62/CE del Consiglio dell'Unione Europea sulla valutazione e gestione della qualità dell'aria e secondo la prima direttiva figlia. Nella direttiva figlia, la convenzione di prelievo toracica secondo l'ISO è stata assimilata per convenzione alla frazione PM₁₀.

Nella importante appendice sono riportate tra le altre cose:

- *convenzione di prelievo di PM₁₀*
- *criteri di progettazione per apparecchi campionatori di riferimento di PM₁₀*
- *filtri e procedimenti di pesatura*

Stabilisce i requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici indipendentemente dalla loro natura e stato fisico, nell'aria degli ambienti di lavoro. Essa si applica a tutte le fasi dei procedimenti di misurazione sia basati su campionatura ed analisi separate, sia su quelli su dispositivi a lettura diretta. É la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 482, approvata dal CEN il 27 luglio 1994.

Le leggi e i regolamenti nazionali basati sulle direttive europee prevedono la valutazione dell'esposizione potenziale dei lavoratori ad agenti chimici presenti nell'atmosfera dell'ambiente di lavoro. Uno dei metodi per valutare tale esposizione consiste nella misurazione della concentrazione dell'agente chimico nell'aria respirata nell'ambiente di lavoro. I procedimenti utilizzati per tali misurazioni devono fornire risultati attendibili e validi in modo tale che dal loro confronto con valori limite prestabiliti sia possibile decidere se, per esempio, il valore di esposizione sia accettabile ovvero debbano essere adottate misure di controllo.

A causa della loro importanza nel processo di valutazione dell'esposizione, i procedimenti di misurazione devono soddisfare alcuni requisiti generali.

I requisiti di prestazione prescritti dalla norma comprendono la non ambiguità, la selettività, l'incertezza globale (una combinazione di precisione ed errore sistematico) per i campi di misurazione minimi specificati, il tempo di stabilizzazione, etc.

Idealmente, questi requisiti dovrebbero essere applicabili anche nelle condizioni ambientali dell'ambiente di lavoro. A causa del largo spettro di queste condizioni ambientali, tali requisiti devono essere soddisfatti dai procedimenti di misurazione in condizioni di laboratorio predefinite. Per alcuni ambienti di lavoro può essere necessario che i procedimenti di misurazione soddisfino i requisiti di prestazione in una gamma più ampia di influenze ambientali. Ciò deve essere stabilito caso per caso e non può essere trattato nella presente norma generale.

I metodi di prova per i procedimenti di misurazione sono forniti in termini generali. Poiché i metodi di prova dipendono dalle specifiche procedure o strumenti di misurazione, metodi di prova dettagliati verranno specificati nelle norme specifiche. Questi metodi di prova dettagliati devono essere coerenti con i metodi generali di prova descritti nella presente norma.

La norma **ISO 10473:2000** contribuisce ai metodi analitici di monitoraggio ambientale riguardo alla “misurazione della massa di particelle su un filtro e metodo di assorbimento dei raggi beta. Il metodo di misurazione previsto dalla norma è impostato sul calcolo del limite di concentrazione di particolato in funzione della concentrazione sul filtro (in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$), della superficie del medesimo, della portata di campionamento e del tempo. È inoltre basato sul successivo assorbimento di raggi beta da parte del particolato.

La norma **UNI EN 12341:2001**, altro tassello importante nell'indagine del particolato aerodisperso, descrive il metodo di riferimento e il procedimento per prove in campo atte a dimostrare l'equivalenza dei metodi di misurazione rispetto

al metodo di riferimento per la determinazione del particolato in sospensione PM10.

Il metodo di misurazione di riferimento deve consistere di un campionatore dotato di un orifizio d'ingresso per il PM10 direttamente accoppiato a un filtro e a un regolatore di flusso nella relativa catena di misura, con la determinazione gravimetrica della massa di PM10 raccolta sul filtro.

Nella norma sono definiti i criteri di progettazione per gli apparecchi campionatori di riferimento.

Chiarisce, inoltre, tutta la tematica inerente le membrane filtranti, e le condizioni di campionamento micro e macro ambientali.

Riporta infatti che: *“devono essere impiegati filtri aventi un’efficienza di separazione > 99,5% (preferibilmente filtri in fibra di quarzo). I filtri non ancora utilizzati e quelli già campionati devono essere riequilibrati alle stesse condizioni: devono essere posti per 48 h su appositi vassoi forati aperti ma protetti contro la polvere all’interno di una camera di pesatura con aria condizionata ed esposti ad una temperatura di (20 ± 1) °C e con un’umidità relativa di (50 ± 5) %. Per filtri molto secchi o particolarmente umidi il condizionamento può essere prolungato di 24 h.*

La risoluzione della bilancia usata deve essere di almeno 10 µg. La bilancia deve essere installata e utilizzata nella camera di pesatura.

Il metodo di prova in campo impone la selezione dei siti di prova tenendo conto dell’integrità del sito su scala macro-ambientale (tipo di ubicazione) e su scala micro-ambientale (area immediatamente circostante la stazione di misura).

Su scala macro-ambientale il luogo di campionamento deve essere scelto in modo tale da rappresentare sia situazioni che si incontrano comunemente, sia situazioni estreme.

Su scala micro-ambientale devono essere rispettate almeno le seguenti regole di base:

- *il flusso intorno all’orifizio d’ingresso dell’apparecchio campionatore non deve essere in alcun modo disturbato; inoltre, non vi*

devono essere ostacoli (balconi, alberi, superfici verticali o pareti, ecc.) che possano influenzare il flusso d'aria in prossimità degli apparecchi campionatori;

- *gli orifizi d'ingresso devono essere collocati a una distanza sufficiente gli uni dagli altri in modo da evitare interferenze reciproche sul campionamento (per esempio un apparecchio non deve trovarsi nelle vicinanze dello scarico della pompa dell'altro);*

- *tutti gli orifizi di ingresso devono trovarsi alla stessa altezza (tra 1,5m e 8m) dal suolo;*

- *gli orifizi d'ingresso devono essere posizionati lontano da sorgenti locali di particolato al fine di evitare che nubi di polvere possano entrare direttamente nell'apparecchio (per esempio occorre evitare la vicinanza ai camini di impianti di riscaldamento domestico).*

L'equivalenza di un apparecchio campionatore con lo strumento di riferimento dipende seguenti aspetti:

- *comparabilità dell'apparecchio campionatore in esame: l'incertezza dei risultati ottenuti con gli apparecchi campionatori in esame (ottenuta da misurazioni doppie) viene usata come misura idonea per valutarne la comparabilità. Ovviamente esemplari diversi dello stesso tipo di apparecchio campionatore dovrebbero comportarsi allo stesso modo durante il prelievo della stessa frazione di SPM (articolato in sospensione);*

- *comparabilità dell'apparecchio campionatore in esame con l'apparecchio campionatore di riferimento: idealmente l'apparecchio campionatore in esame e quello di riferimento dovrebbero prelevare la stessa frazione di SPM (vale a dire PM_{10}). Quindi la funzione di equivalenza al riferimento osservata $y=f(x)$, che descrive il rapporto tra le concentrazioni misurate con l'apparecchio campionatore in esame y e quello di riferimento x , dovrebbe avvicinarsi alla funzione ideale $y=x$ nella misura richiesta dagli obiettivi di qualità dell'utilizzatore".*

La norma **ISO 12141:2002** descrive un metodo di riferimento per la misurazione di polveri nei flussi gassosi canalizzati a concentrazioni inferiori a 50 mg/m³ in condizioni standard. Fornisce, inoltre, indicazioni per le analisi con metodo gravimetrico.

Il decreto legislativo **2 febbraio 2002, n.25**, che attua la direttiva 98/24/CE (ed ha integrato il testo del D. Lgs. 626/94), sulla protezione della salute e della sicurezza dei lavoratori contro i rischi derivanti da agenti chimici durante il lavoro, introduce nell'ambito del quadro giuridico nazionale significative innovazioni in merito alla individuazione dei valori limite di esposizione professionale.

La norma, nel recepire la Direttiva Comunitaria 98/24/CE fa riferimento con l'art.72-ter decies, in particolare per quanto riguarda i valori limite, alle disposizioni dell'Art.3 della stessa, in cui viene descritta, e quindi formalmente ribadita nell'ambito del nuovo quadro giuridico di tutela dei lavoratori dall'esposizione agli agenti chimici, la procedura che la Commissione ha da tempo adottato per la definizione dei valori limite e che quindi è da considerare quale procedura di riferimento per tutti gli Stati Membri dell'Unione Europea.

L'altro aspetto importante del presente decreto, sono le modifiche e le aggiunte al Titolo VII del D.Lgs. 626/94 e l'aggiunta ex novo, del Titolo VII bis, avente l'intestazione "Protezione dagli agenti chimici".

Il decreto definisce agente chimico, *"tutti gli elementi o composti chimici che, sia da soli che nei loro miscugli, allo stato naturale o ottenuti, sono utilizzati o smaltiti mediante qualsiasi attività lavorativa"*. Secondo la norma, si parlerà di agente chimico pericoloso, qualora la sostanza o il preparato in questione rientra nella classifica ai sensi del D.Lgs. 52/97 e D.Lgs. 65/2003 che abroga il precedente D.Lgs. 285/98.

Le altre definizioni della norma riguardano quella di sostanze e preparati non classificati ai sensi della normativa vigente in materia di immissione sul mercato comunitario, ma dotati di etichettatura provvisoria del costruttore, quella di sostanze e preparati che corrispondono ai criteri di classificazione della normativa vigente (escluse le sostanze classificate pericolose per l'uomo e per

l'ambiente), quali i cosmetici, i medicinali ad uso umano e veterinario, i prodotti fitosanitari, le munizioni, gli esplosivi, etc.

Un'altra definizione è quella di agenti chimici che pur non essendo classificabili come pericolosi possono comportare un rischio per la salute e la sicurezza, a causa delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche e delle modalità con cui sono utilizzati e presenti nel luogo di lavoro.

Un'attività che comporta l'esposizione ad agenti chimici, è *“quella attività lavorativa in cui sono utilizzati agenti chimici oppure se ne prevede l'utilizzo, durante le fasi di produzione, di manipolazione, di immagazzinamento, di trasporto, d'eliminazione e di trattamento dei rifiuti”*.

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.

Il **Decreto Ministeriale 60/02**, recepisce la direttiva europea 99/30/CE, stabilisce i valori limite per le polveri PM10 e la data alla quale tali valori devono essere raggiunti al fine di proteggere la salute umana. Fornisce indicazioni del tutto innovative sul corretto posizionamento di una stazione di misura.

Nel 2004 la **direttiva europea n. 37** *“sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro”*, definisce gli agenti mutageni e cancerogeni, e *“fissa le prescrizioni minime particolari in questo settore, compresi i valori limite”*.

Così il valore limite viene definito *“se non altrimenti specificato, come, la media ponderata in funzione del tempo del limite di concentrazione di un «agente cancerogeno o mutageno» nell'aria entro la zona di respirazione di un lavoratore in*

relazione ad un periodo di riferimento determinato stabilito all'allegato III della presente direttiva”.

L'allegato III, quindi riporta, tabellati, i valori limite di esposizione per diversi agenti:

ALLEGATO III

Valori limite ed altre disposizioni direttamente connesse

(Articolo 16)

VALORI LIMITE PER L'ESPOSIZIONE PROFESSIONALE

Nome agente	Einecs ⁽¹⁾	CAS ⁽²⁾	Valori limite		Osservazioni	Misure transitorie
			mg/m ³ ⁽³⁾	Ppm ⁽⁴⁾		
Benzene	200-753-7	71-43-2	3,25 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	Pelle ⁽⁶⁾	Valore limite: 3 ppm (= 9,75 mg/m ³) fino al 27 giugno 2003
Cloruro di vinile monomero	200-831	75-01-4	7,77 ⁽⁵⁾	3 ⁽⁵⁾	—	—
Polveri di legno	—	—	5,00 ⁽⁵⁾ ⁽⁷⁾	—	—	—

⁽¹⁾ Einecs: European Inventory of Existing Chemical Substances.

⁽²⁾ CAS: Chemical Abstract Service Number.

⁽³⁾ mg/m³ = milligrammi per metro cubo di aria a 20 °C e 101,3 kPa (corrispondenti alla pressione di 760 mm di mercurio).

⁽⁴⁾ ppm = parti per milione per volume di aria (ml/m³).

⁽⁵⁾ Misurato o calcolato in relazione ad un periodo di riferimento di 8 ore.

⁽⁶⁾ Possibile penetrazione cutanea oltre all'inalazione regolamentata.

⁽⁷⁾ Frazione inalabile; se le polveri di legno duro sono mischiate con altre polveri di legno, il valore limite si applica a tutte le polveri di legno presenti nella miscela in questione.

Tabella 2. Estratto dell'allegato n.3 della direttiva Europea 37 del 2004

Altra norma di grande interesse nella misura delle polveri è la **UNI EN 14907** del novembre 2005. Il titolo è di per se esplicativo dell'importanza che riveste la presente norma in fatto di polveri e in particolare di frazione respirabile del particolato.

Questo riporta, infatti, *“Metodo normalizzato di misurazione gravimetrico per la determinazione della frazione massica PM 2,5 del particolato in sospensione”*.

Essa descrive un metodo normalizzato per la determinazione della concentrazione massica PM_{2,5} del particolato in sospensione in aria ambiente mediante campionamento del particolato su filtri e pesatura degli stessi su una bilancia analitica.

Contiene, inoltre :

- una procedura per la determinazione gravimetrica della concentrazione di PM_{2,5} usando singoli filtri;
- un sommario delle caratteristiche prestazionali del metodo gravimetrico, dedicando un capitolo specifico alla determinazione dell'incertezza di misura;
- procedure per determinare l'equivalenza di tecniche non gravimetriche per la misura di concentrazione di PM_{2,5}, rispetto al metodo gravimetrico di riferimento definito metodo standard.

Anche il decreto legislativo **81 del 9 aprile 2008**, più noto come **testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro**, all' allegato IV- requisiti dei luoghi di lavoro- il punto 1.1.6. recita *“Il datore di lavoro deve mantenere puliti i locali di lavoro, facendo eseguire la pulizia, per quanto è possibile, fuori dell'orario di lavoro e in modo da ridurre al minimo il sollevamento della polvere dell'ambiente, oppure mediante aspiratori”*.

Nell'Allegato V al titolo III al punto 4.1 4.1. ancora: *“Un'attrezzatura di lavoro che comporti pericoli dovuti ad emanazioni di gas, vapori o liquidi ovvero ad emissioni di polveri, fumi o altre sostanze prodotte, usate o depositate nell'attrezzatura di lavoro deve essere munita di appropriati dispositivi di ritenuta e/o di estrazione vicino alla fonte corrispondente a tali pericoli”*.

Valori limite di soglia

Un paragrafo a parte, nella panoramica della normativa, spetta ai valori limiti di soglia o Threshold Limit Values (TLV) ed Indici Biologici di Esposizione o Biological Exposure Indices (IBE) da utilizzarsi in ambito industriale, per decidere circa i livelli di esposizione a vari agenti chimici e fisici che si ritrovano negli ambienti di lavoro che garantiscano la salute per i lavoratori.

Molto utilizzati nell' ambito della sperimentazione sono i valori proposti dall'**ACGIH** (American Conference of Governmental Industrial Hygienist). Trattasi

di una associazione professionale privata no-profit e non governativa, i cui associati sono igienisti industriali o altri professionisti nel campo della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. L'organizzazione si occupa degli aspetti tecnici ed amministrativi della salute negli ambienti di lavoro e di vita. L'ACGIH ha contribuito fortemente allo sviluppo ed al miglioramento della protezione della salute dei lavoratori.

Vengono quindi forniti i valori da essa proposti, come linee guida per l'utilizzo nella pratica dell'igiene industriale, ma non vengono studiati per essere utilizzati come valori di legge (standard). Tuttavia l'ACGIH è consapevole che, in talune situazioni, i TLV e gli IBE sono utilizzati quali standard legislativi da governi locali regionali e nazionali.

Anche se l'associazione non approva questi usi, essa non si oppone, in quanto consapevole che l'uso dei TLV/IBE può contribuire ad un miglioramento globale della salute dei lavoratori.

L'utilizzatore deve però conoscere i criteri e le limitazioni per un loro impiego appropriato ed è responsabile per questo tipo di utilizzo.

Ogni anno i valori di TLV e gli IBE sono pubblicati in una raccolta, che però non può costituire una linea netta di demarcazione tra livello di sicurezza e livello di pericolo.

Ad esempio, prendendo in esame l'acetone che ha un TLV-TWA di 1.188 mg/m³, non si potrebbe ragionevolmente pensare che con una concentrazione di 1.187 mg/m³ nell'ambiente di lavoro, si possa stare tranquilli, mentre con 1.189 mg/m³, debba necessariamente scattare l'allarme; un milligrammo in più o in meno non può certamente determinare l'esistenza o l'assenza di un rischio per la salute. Se infatti si definisse per legge che al di sopra del TLV c'è rischio, mentre al di sotto c'è sicurezza, negli ambienti di lavoro in cui si supera il livello di allarme ci si preoccuperebbe semplicemente di raggiungere la linea del TLV. Si perderebbe pertanto ogni possibilità di introdurre cambiamenti positivi che consentirebbero di migliorare ulteriormente le condizioni di lavoro.

Comunque i limiti dell'ACGIH costituiscono un indice (attualmente il migliore esistente) da tenere in considerazione, se non altro come "soglia di

attenzione” e come punto di partenza per la verifica delle condizioni dell’ambiente di lavoro, nell’ottica di un costante miglioramento della sicurezza dei lavoratori.

Si tratta di valori che in Italia non sono “ufficialmente” vincolanti per legge e quindi vengono utilizzati solo come riferimento generale per la valutazione della pericolosità di una sostanza.

Tuttavia nel nostro Paese, data la carenza di riferimenti legislativi in merito ai limiti di esposizione degli agenti chimici nocivi per l’uomo, la giurisprudenza è pienamente concorde nell’utilizzare i TLV dell’ACGIH quale strumento di riferimento negli ambienti di lavoro, come conferma la nota finale del DM 20/08/1999:

“In mancanza di riferimenti legislativi italiani, in valori limite di esposizione generalmente adottati per gli ambienti di lavoro sono in TLV (Threshold Limit Value = Valore limite di soglia) stabiliti annualmente dall’ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) ed editi in italiano dall’AIDII (Associazione italiana degli igienisti industriali). Allo stato attuale i soli riferimenti legislativi italiani relativi ad inquinanti chimici negli ambienti di lavoro sono quelli per il piombo e per l’amianto contenuti nel decreto legislativo 15 agosto 1991, n. 277 e nella Legge 27 marzo 1992, n. 257, omissis”.

I TLV indicano per ognuna delle sostanze indicate, le loro concentrazioni aerodisperse al di sotto delle quali si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa rimanere esposta, giorno dopo giorno, senza effetti negativi per la salute. Tuttavia, a causa della notevole variabilità della sensibilità individuale, una piccola percentuale di lavoratori può accusare disagio in presenza di alcune sostanze le cui concentrazioni siano pari o inferiori ai TLV. In una piccola percentuale di individui, si può osservare un effetto più marcato per l’aggravarsi di condizioni preesistenti o per l’insorgere di una malattia professionale. Inoltre anche il fumo di tabacco, nel caso di dipendenti fumatori, può incrementare gli effetti biologici delle sostanze chimiche presenti nell’ambiente e può ridurre i meccanismi di difesa dell’organismo contro le sostanze tossiche. Alcuni individui possono anche essere ipersuscettibili o sensibili in modo particolare a talune sostanze, in conseguenza di fattori genetici, dell’età, delle abitudini personali (uso di alcool, droghe, etc.), cure mediche o esposizioni pregresse. Tali lavoratori possono risultare non

adeguatamente protetti contro effetti avversi per la salute, da parte di sostanze presenti a concentrazioni pari o inferiori ai TLV.

In queste situazioni, sarebbe auspicabile l'intervento del medico del lavoro per stabilire i limiti personali di esposizione.

I TLV sono stabiliti in base ai dati più attendibili ricavati dall'esperienza in campo industriale, ai risultati di ricerche sperimentali sull'uomo e sugli animali e, quando possibile, alla combinazione dei tre elementi di giudizio. Il criterio con cui il limite tollerabile viene fissato, può variare a seconda del tipo di sostanza considerata; in alcuni casi ci si propone di prevenire i danni per la salute, in altri, di eliminare fenomeni irritativi, di riduzione dello stato di vigilanza, di disagio o altre forme di stress.

I danni per la salute considerati, comprendono quelli che possono ridurre l'aspettativa di vita, compromettere le funzioni fisiologiche, ridurre la capacità di resistenza ad altre sostanze tossiche o alle malattie, influire negativamente sulla funzione riproduttiva o sui processi di sviluppo.

La qualità e la natura delle informazioni disponibili per stabilire i TLV varia da sostanza a sostanza e in funzione del tempo. Di conseguenza la precisione dei TLV stabiliti, è soggetta a variazioni ed un loro utilizzo corretto dovrebbe prevedere la consultazione dell'ultima pubblicazione riguardante l'argomento, effettuata dall'ACGIH.

La divulgazione di questi standards in Italia, avviene attraverso le pubblicazioni dell'AIDII (Associazione Italiana degli Igienisti Industriali / è l'equipollente Italiano dell'ACGIH statunitense, cioè un ente no profit che si occupa di igiene nell'industria e nell'ambiente), tra le quali il "Giornale degli Igienisti Industriali", pubblicato annualmente. Al suo interno sono presenti, in ordine alfabetico, tutti i composti chimici presenti nelle realtà lavorative e industriali, e i relativi valori limite di soglia che non devono essere superati (TLV).

Le concentrazioni sono espresse in ppm (parti per milione) oppure in mg/m³. Esistono tre diverse categorie di valori limiti di soglia:

1. TLV-TWA (media ponderata nel tempo): è la concentrazione media ponderata nel tempo, su una giornata lavorativa convenzionale di 8 ore e su 40 ore

lavorative settimanali, alla quale si ritiene che quasi tutti i lavoratori possano essere ripetutamente esposti, giorno dopo giorno, senza effetti negativi sulla propria salute.

E' un valore limite per esposizioni prolungate nel tempo ed è il TLV più importante.

2. TLV-STEL (limite per breve tempo di esposizione): rappresenta la concentrazione alla quale si ritiene che i lavoratori possano essere esposti continuativamente per breve periodo di tempo senza che insorgano:

a) irritazione;

b) danno cronico o irreversibile del tessuto;

c) riduzione dello stato di vigilanza di grado sufficiente ad accrescere le probabilità di infortuni, o influire sulle capacità di mettersi in salvo, o ridurre materialmente l'efficienza lavorativa, sempre nel presupposto che il TLV-TWA non venga superato.

Il TLV-STEL non costituisce un limite di esposizione separato indipendente, ma piuttosto integra il TLV-TWA di una sostanza la cui azione tossica sia principalmente di natura cronica, qualora esistano effetti acuti riconosciuti. I TLV-STEL vengono raccomandati quando l'esposizione umana o animale ad alta concentrazione per breve durata ha messo in evidenza effetti tossici. Un TLV-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 8 ore è inferiore al TLV-TWA. Esposizioni o concentrazioni comprese fra il TLV-TWA ed il TLV-STEL non devono protrarsi oltre i 15 minuti e non devono ripetersi per più di quattro volte al giorno. Fra esposizioni successive o concentrazioni comprese fra il TLV-TWA ed il TLV-STEL, devono intercorrere almeno 60 minuti. Un periodo di mediazione diverso dai 15 minuti può essere consigliabile se ciò è giustificato da effetti biologici osservati.

3. TLV-C, (C sta per ceiling, cioè "limite"): è la concentrazione che non deve essere mai superata durante qualsiasi momento dell'esposizione lavorativa.

Nella pratica convenzionale di igiene industriale, il campionamento istantaneo non sempre è possibile; pertanto, per la valutazione di un TLV-C si può

ricorrere ad un campionamento di durata non superiore a 15 minuti, eccezione fatta per quelle sostanze che possono dare luogo, anche per esposizioni particolarmente brevi, a fenomeni irritativi immediati.

Per alcune sostanze, quali i gas irritanti, riveste importanza la sola categoria del TLV-C. Per altre sostanze, in funzione della loro azione fisiologica, possono essere importanti, una o due categorie di TLV. E' sufficiente che uno qualsiasi dei tre TLV venga superato per presumere che esista un potenziale rischio di esposizione per la sostanza in questione.

Il Comitato per i TLV delle sostanze chimiche è del parere che i limiti di concentrazione indicati per prevenire manifestazioni irritative, non debbano essere considerati meno vincolanti di quelli raccomandati per evitare l'insorgenza di un danno per la salute. Sono sempre più frequenti le constatazioni che l'azione irritativa può avviare, facilitare o accelerare un danno per la salute, attraverso l'interazione con altri agenti chimici o biologici.

Oltre ai TLV dell'ACGIH, esistono valori limite di soglia proposti da altri enti operanti nel settore dell'igiene e sicurezza, come ad esempio il **NIOSH** (National Institute for occupational Safety and Health – Istituto Nazionale Statunitense per la Sicurezza e la Salute sul Lavoro) e l'**OSHA** (Occupational Safety & Health Administration – Ente Amministrativo Statunitense per la Salute e la Sicurezza del Lavoro). Interessante il lavoro svolto da entrambi gli enti sopracitati qualora si vogliano confrontare diverse definizioni di valori limiti di soglia o per esempio si voglia ricercare un valore limite di soglia per composti non presenti nelle liste dell'ACGIH.

I VOC, per esempio, (composti organici volatili, quali metano, idrocarburi etc.) e cioè quella miscela di idrocarburi, alcoli etc., che viene espulsa con i gas di scarico, e per i quali l'ACGIH non fornisce alcun riferimento (espresso solo per singola sostanza, come ad esempio il benzene, metano, butadiene, etc.), sono presenti nelle liste dell' OSHA che si esprime a riguardo con un livello di azione pari a 0,5 ppm.

Polveri in agricoltura

In agricoltura la molteplicità e l'eterogeneità dei diversi lavori colturali determina la molteplicità e l'eterogeneità delle situazioni di rischio. Negli ultimi anni, è, inoltre, aumentata la consapevolezza del rischio e della necessità di una maggiore sicurezza sui luoghi di lavoro e, in questo contesto, ha assunto maggiore importanza la problematica derivante dalla dispersione in atmosfera di particolato. Per molto tempo gli effetti all'esposizione delle polveri sono stati trascurati, oggi diventano casi di studio per migliorare la qualità dell'ambiente di lavoro e la salute degli operatori agricoli; è ormai infatti ben noto che questi contaminanti possono avere serie ripercussioni sulla salute dell'apparato respiratorio umano e, più in generale, sull'ambiente.

Si tratta di fonti di pericolo di contaminazione caratterizzati da conseguenze subdole, indirette, ed a lungo termine (in senso spazio-temporale).

I rischi e gli eventuali danni oltre che diretti nei confronti degli operatori agricoli, possono interessare anche i residenti delle zone limitrofe o i soggetti occasionalmente presenti. Non è inoltre escluso che le polveri disperse generate dal terreno, specie se contenenti matrici tossiche (ad esempio silice libera cristallina) o se includenti dei prodotti agrochimici (es. diserbanti e prodotti fitosanitari) possano avere ripercussioni indirette sull'intero ecosistema, agendo anche su altri comparti affatto coinvolti nell'attività agricola stessa.

Tale esposizione comporta dei rischi, che possono variare in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche delle polveri, alla durata del periodo di esposizione, all'adozione o meno di dispositivi di protezione realmente efficaci e di procedure operative finalizzate alla riduzione dell'esposizione stessa.

I rischi, generati dall'attività agricola sono costantemente sotto osservazione e fonte di diverse analisi. Le operazioni colturali, le macchine utilizzate, i dispositivi, le condizioni edafiche ed atmosferiche e gli agenti chimici, possono essere fattori di rischio, da valutarsi sia singolarmente, sia in modo complessivo.

La sensibilizzazione dell'opinione pubblica viene, inoltre, aumentata da parte di media sempre più attenti alla qualità della vita, di cittadini coerentemente

consapevoli che tanto l'inquinamento diffuso, quanto quello puntiforme intaccano negativamente quella stessa qualità, provocando danni per la salute e per l'ecosistema sempre più spesso tristemente irreparabili. In breve, oggi, il transito nei pressi di una strada costeggiante un appezzamento agricolo sede di lavorazioni generanti polveri, crea una sorta di immediato allarme e conseguenti ricerche di spiegazioni e rassicurazioni sanitarie.

Le polveri prodotte nelle attività agricole possono essere suddivise fra le seguenti tipologie:

1. Polvere costituita da particelle di terreno sollevate durante l'esecuzione di lavorazioni del terreno, semina e raccolta.

Le operazioni che comportano la manipolazione del terreno e delle colture determinano la produzione di polvere costituita da particelle di terreno. La natura del terreno determina la tipologia di polvere. Nei casi di terreni ricchi di sabbia, le polveri possono avere alto contenuto di silice cristallina libera (SLC). Inoltre, in seguito a trattamenti con fitofarmaci, la polvere può contenere residui dei principi attivi utilizzati (diserbanti, insetticidi e anticrittogamici) che sono veicolati con essa e soggetti a deriva. Potendo rimanere sospese nell'aria anche a lungo, le particelle possono venire a contatto con gli operatori. In determinati periodi dell'anno in cui sono concentrate alcune operazioni, come ad es. la raccolta delle nocciole nelle zone vocate, si hanno vaste aree investite dalla polvere sollevata dalle macchine raccogliatrici (aspiratrici), per cui il problema può estendersi ai centri abitati delle zone stesse, determinando situazioni di allarme sanitario.

2. Polveri da abrasione, contenenti residui di fitofarmaci, generate nell'utilizzo di semi conciatati e di materiali granulari e in polvere.

Nel caso di materiali granulari e in polvere, si può trattare di concimi minerali o di insetticidi in forma microgranulare da distribuire nel terreno, le cui polveri contengono il prodotto chimico ed un eventuale vettore più o meno inerte (es. granuli di amido). Nel caso dei semi conciatati, le polveri sono costituite dai frammenti dei semi (tegumento) e da agenti adesivanti, insetticidi e fungicidi con cui la parte superficiale del seme è stata trattata. Ad esempio, per la semina del

mais, sono utilizzate le seminatrici pneumatiche, che determinano la dispersione di polvere prodotta per sfregamento dal seme conciato in superficie con tali sostanze. Queste, disperse nell'aria, si diffondono nell'ambiente, esponendo gli stessi operatori al rischio di inalazione e contatto di polveri tossiche. Presumibilmente gli operatori sono esposti alle polveri contenenti i principi attivi.

3. Polveri derivanti dalla distribuzione di fitofarmaci in forma polverulenta, per la protezione delle colture.

Il problema specifico riguarda l'esposizione degli operatori alle polveri derivanti dalla distribuzione di fitofarmaci in forma polverulenta sulle colture per finalità di protezione o nutrizione, la potenziale contaminazione ambientale (con particolare riferimento alle acque) delle zone circostanti e l'esposizione di soggetti residenti e occasionali. Per alcuni prodotti in polvere, come lo zolfo, caratterizzati da un basso impatto ambientale ed utilizzabili anche in agricoltura biologica, non sono disponibili informazioni sul rischio di esposizione all'inalazione durante le operazioni di distribuzione.

4. Polveri derivanti dalla lavorazione di prodotti ligno-cellulosici per vari usi, come lavorazione del legname da opera e per uso energetico (trinciatura) e polveri da legno derivanti dalle cure colturali alle piante arboree.

Le polveri di legno, oltre che ai frammenti di cellulosa e lignina di cui sono composte, possono in alcuni casi, divenire vettori di agenti biologici (spore fungine e batteri) e chimici (residui di fitofarmaci). Tale aspetto è stato solo recentemente preso in considerazione effettuando dei campionamenti di aria durante operazioni di trinciatura di legname per uso energetico. Nelle potature e abbattimenti di piante arboree il problema dell'esposizione alle polveri può essere aggravato dalla vicinanza dell'operatore alla sorgente emissiva.

5. Polveri derivanti dalle attività zootecniche

Alcune fasi dell'attività zootecnica comportano esposizione, spesso in ambiente confinato, a polveri organiche, vettori potenziali di agenti biologici (da quelli classici delle BPNO agricole alle endotossine, ecc.). Le operazioni

maggiormente meritevoli di approfondimento per produzione di polveri e/o aerosol riguardano le varie fasi della preparazione e della distribuzione della razione alimentare, la pulizia delle zone di stabulazione, il rifacimento della lettiera ed, nel caso dell'allevamento bovino, anche la mungitura. Negli allevamenti moderni, vengono impiegate una serie di macchine operatrici (ad es. carri miscelatori) che contribuiscono, nelle varie fasi del loro impiego, al sollevamento e alla dispersione del particolato. In generale tali emissioni sono ampiamente riconosciute come dannose per l'apparato respiratorio degli addetti e degli stessi animali.

Allo stato attuale, risultano ancora poco indagati gli effetti da esposizione da parte degli operatori nelle condizioni sopra descritte, essendo la maggior parte degli studi svolti riferiti a casi di esposizione in ambienti chiusi di tipo industriale.

I grafici seguenti mostrano il contributo di diverse attività, tra cui quella agricola, all' emissione di polveri analizzate in Veneto e Lombardia.

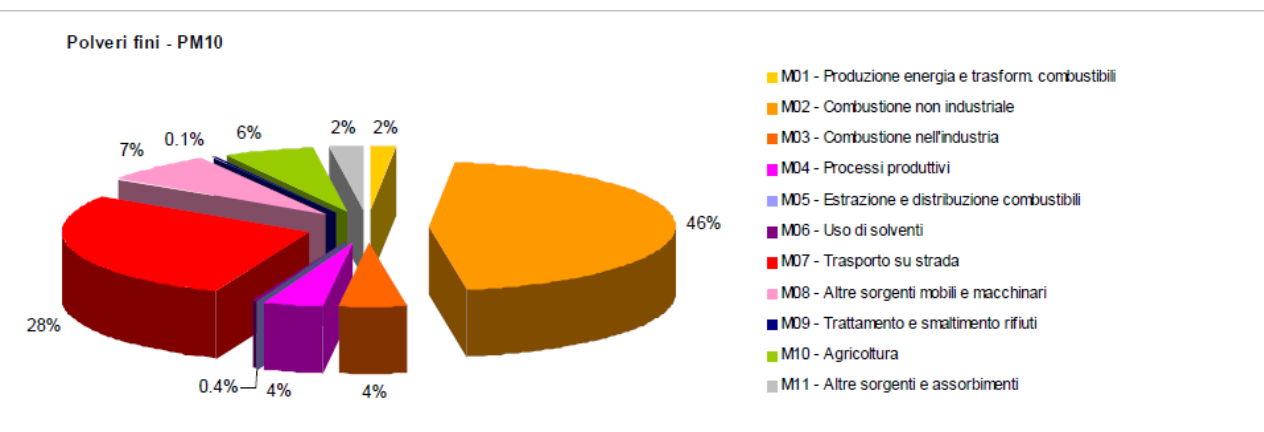


Grafico 2. Il contributo di vari processi produttivi alle emissioni di PM 10 in Veneto nel biennio 2007/2008 (fonte INEMAR).

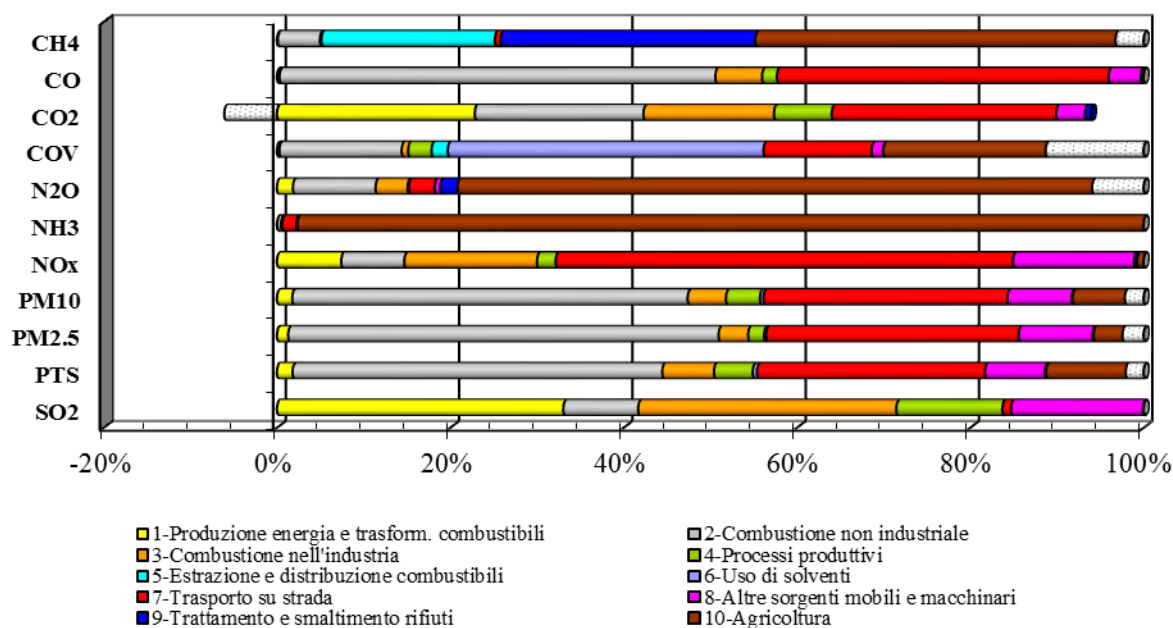


Grafico 3. Emissioni in Veneto ripartite per macrosettore nel biennio 2007/08 (fonte INEMAR).

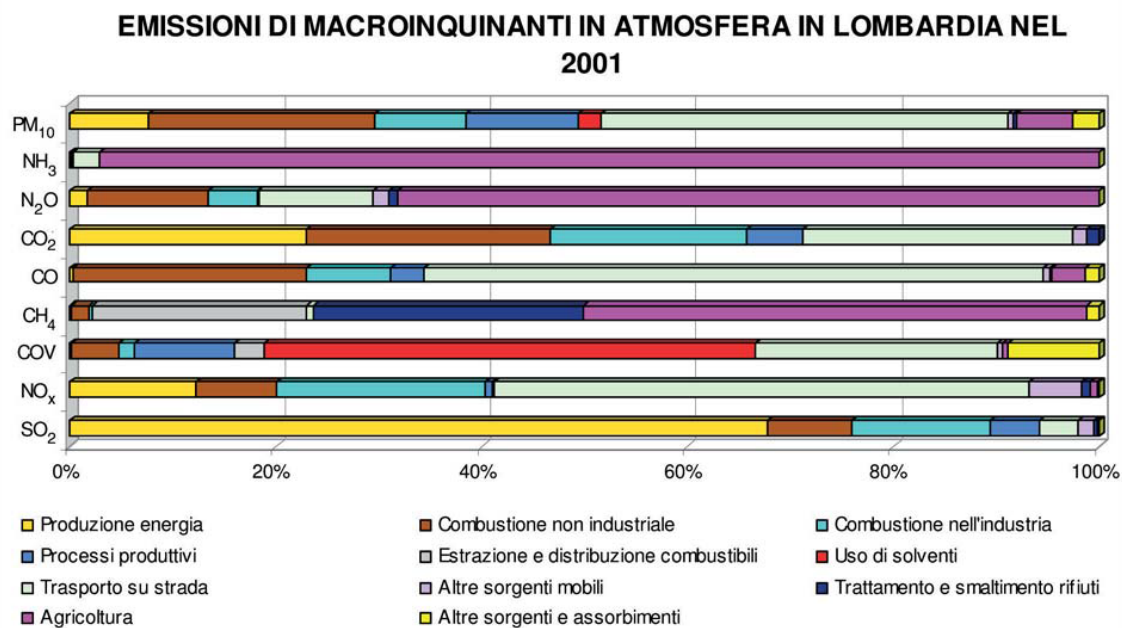


Grafico 4. Emissioni in Lombardia nel 2001 ripartite per macrosettore (Fonte Arpa Lombardia)

Cenni sulle principali patologie per esposizioni a polveri

Polveri organiche

Una **alveolite tossica acuta**, altrimenti nota come "sindrome da polvere organica tossica" (ODTS), può accompagnare brevi ed occasionali esposizioni alle concentrazioni di polveri organiche in ambiente agricolo. Il contenuto della polvere inalato può includere spore fungine, batteri, spore di batteri ed endotossine.

I sintomi della malattia diventano spesso evidenti tra 4 e 8 ore dopo l'inalazione di polveri organiche.

L'alveolite tossica acuta è uno stato infiammatorio degli alveoli con sintomi simili a quelli dell'influenza. L'insorgenza della malattia può essere improvvisa, con alta temperatura corporea, tremori, brividi, congestione nasale, irritazione della gola, mal di testa, dolori dei muscoli, delle articolazioni e tosse.

I sintomi sono di breve durata. La malattia dura da 1 a 3 giorni e passa senza trattamento se viene evitata esposizione ulteriore alle polveri.

L' **alveolite allergica** è una malattia polmonare "cronica", che può verificarsi a seguito di esposizione ripetuta per un lungo periodo a polveri organiche contenenti un' elevata concentrazione di microrganismi.

È una grave malattia di lunga durata (in grado di persistere per diversi mesi) e può mettere in pericolo l'efficienza polmonare fino ad una condizione di irreversibilità delle condizioni critiche polmonari.

Altra difficoltà sta nel fatto che è difficile da distinguere da una polmonite.

L' alveolite allergica provoca un'infiammazione degli alveoli e l'efficienza dei polmoni diminuisce gradualmente, con conseguente mancanza di fiato e stanchezza. I sintomi sono dispnea dolorosa, temperatura elevata, tosse, nausea e dolori muscolari. L'insorgenza della malattia può essere insidiosa, iniziando con una tosse e mancanza di respiro, così da rendere difficile il collegamento con l'esposizione a polveri organiche.

Polveri inorganiche

Diverse patologie sono dovute prevalentemente ad una esposizione alla polvere minerale: bronchite acuta e cronica, malattia cronica ostruttiva delle vie aeree e malattie polmonari interstiziali.

Molti disturbi respiratori in agricoltura, derivano da esposizioni a polveri che tendono a sovrapporsi, è difficile, dunque, identificare l'agente patogeno associato ad una determinata diagnosi patologica.

L'esposizione alle polveri inorganiche potrebbe causare una sindrome reversibile della tosse e ridotta funzionalità polmonare.

Pochi studi tossicologici sono stati condotti su polveri di origine agricola; nei ratti, per esempio, l'esposizione a polveri derivanti dalla raccolta degli agrumi o dalla vendemmia, ha provocato alterazioni infiammatorie acute.(Rajini et al., 1995)

Una ricerca finlandese ha rilevato tassi di produzione cronica di catarro quasi 3 volte superiore negli agricoltori (2,0%) rispetto a persone "non farmers" (0,7%) (Terho, 1990).

Una ricerca svolta sugli agricoltori nei vigneti della California ha evidenziato una ridotta capacità vitale collegata ad una ridotta capacità polmonare dopo un periodo di esposizione alle polveri inorganiche. (Gamsky et al., 1992)

Ci sono quattro tipi principali di malattie associate con l'esposizione a polveri minerali di origine agricola:

- macule
- noduli
- diffusa fibrosi interstiziale
- progressiva fibrosi massiva

Le macule interessano i bronchioli respiratori e sono associate ad una lieve fibrosi, osservano comunemente con esposizione a polveri come i silicati.

I noduli sono comuni dopo una esposizione a polveri miste, tra cui silicati a bassa silice libera cristallina (<20%).

Le fibrosi sono associate ad una funzione polmonare ridotta grave che spesso porta disabilità o addirittura decessi.

In alcuni agricoltori morti in California l'analisi di particelle estratte dai polmoni ha confermato che queste avevano la stessa composizione di alcuni campioni di terreno. (McCurdy et al., 1996).

PARTE SPERIMENTALE

Introduzione: gli scenari oggetto di studio

L'attività sperimentale ha riguardato alcuni contesti operativi, dove la presenza di polveri di varia natura, rappresenta una problematica per l'ambiente e per la salute degli operatori.

In particolare si sono svolte delle attività sperimentali su:

- 1. particolato aerodisperso derivante da abrasione di semente di mais conciata con insetticidi;**
- 2. particolato aerodisperso da sollevamento del terreno durante la raccolta meccanizzata del nocciolo;**
- 3. particolato aerodisperso durante la produzione e la movimentazione di cippato di legno di pioppo.**

Le attività intraprese, pur se svolte in scenari diversi e con diverse finalità di ricerca, hanno avuto il comune tratto rappresentato dalle tecniche di campionamento delle polveri. Per questo motivo nel seguente paragrafo vengono illustrati i materiali e i metodi comuni ai vari scenari di ricerca.

In seguito vengono descritte le attività sperimentali e mostrati e discussi i principali risultati acquisiti durante le prove.

Materiali e metodi

Il campionamento può definirsi come l'operazione di prelevamento della parte di una sostanza in quantità tale che la proprietà misurata nel campione prelevato rappresenti, entro un limite accettabile noto, la stessa proprietà nella massa di origine. In altre parole, il fine ultimo del campionamento ambientale è sempre quello di consentire la raccolta di porzioni rappresentative della matrice che si vuole sottoporre ad analisi. Il campionamento costituisce quindi la prima

fase di ogni processo analitico che porterà a risultati la cui qualità è strettamente correlata a quella del campione prelevato. Per tale motivo, il campionamento è una fase estremamente complessa e delicata che condiziona i risultati di tutte le operazioni successive e che di conseguenza incide in misura non trascurabile sull'incertezza totale del risultato dell'analisi.

Seppur volta a perseguire tematiche di studio, scopi sperimentali e obiettivi di ricerca differenti, la sperimentazione è stata, in diverse fasi di analisi, accomunata dall'uso della medesima strumentazione di prova.

I materiali utilizzati sono stati gli stessi, in più stadi, per prove e fini differenti.

Diversamente dicasi per i metodi, i quali, seppur guidati da una base sistematica comune, sono cambiati di prova in prova, per adattarsi alle esigenze sia sperimentali che logistiche della prova stessa.

Sarà trattata, qui di seguito, una parte di materiali e metodi, comune alle diverse tematiche di ricerca, mentre, quanto di specifico riguardante le prove, verrà descritto nella trattazione inerente alla singola sperimentazione.

Materiali e metodi comuni alle diverse sperimentazioni

Il campionamento di una quantità di materiale in sospensione in un liquido, un liquido aeriforme o un gas, prevede il convogliamento di quella quantità rappresentativa attraverso un substrato che possa trattenere gli elementi ricercati, che potranno così essere esaminati, identificati o più semplicemente quantizzati.

Consiste nel prelevare un dato volume di aria tramite un mezzo filtrante dove viene trattenuto il contaminante. Un volume di aria insieme ad una quantità di contaminante darà una concentrazione espressa in milligrammi per metro cubo o in parti per milione. Il volume d'aria viene calcolato moltiplicando la portata attraverso il mezzo filtrante per il tempo espresso in minuti.

Per questo motivo è fondamentale la scelta della durata del campionamento, derivante dalla esperienza maturata nel tempo rispetto alla produzione di polveri legata alla operazione che si sta seguendo.

Il rischio è duplice: da una parte una scarsa presenza di polveri sul supporto, dall'altra un possibile intasamento dello stesso con il pericolo di malfunzionamenti degli strumenti e la conseguente captazione di particelle di diametro diverso rispetto a quello supposto.

La calibrazione del flusso è importante e generalmente si effettua prima e dopo ogni campionamento. Ci sono metodi diversi per prelevare campioni di aria, ma sicuramente il più adottato consiste nel collegare una pompa ad un mezzo filtrante. La pompa deve essere in grado di far passare aria attraverso il filtro ad una velocità costante.

Nell'analisi del particolato, quindi, nel caso di questo e di molti altri studi, le polveri di diversa origine, prodotte da fonti e processi fisici differenti, sono state analizzate grazie alla loro "cattura" su membrane filtranti, dotate di porosità nota, che hanno dunque svolto funzione di setaccio, trattenendo le polveri di dimensioni maggiori della sopracitata porosità.

Un altro campionamento può essere volto alla sola differenziazione in classi diametriche del particolato prodotto, utilizzando dei contatori di particelle che sfruttano il principio per cui quando una particella viene colpita da un fascio di luce incidente, la radiazione diffusa che genera è funzione della sezione d'urto ad una data distanza tra il detector e la particella stessa.

Campionatori d'aria per il monitoraggio ambientale

Sono le "pompe", utilizzabili per campionamenti ambientali che permettono di regolare l'aspirazione del flusso d'aria in modo da operare con portata costante e regolare il campionamento in base alla durata o al volume aspirato.

Per il campionamento dei principi attivi (p.a.) sono stati utilizzati 4 campionatori ambientali modello "Bravo plus M" e "Bravo basic M" della ditta Tecora. Tutti i campionatori hanno la possibilità di regolazione del tempo di funzionamento e della portata; sul primo si può regolare anche la durata del campionamento in base al volume aspirato.

Questi campionatori, a flusso costante, permettono di lavorare ad un'ampia gamma di flussi impostabili manualmente. Sono equipaggiati con una membrana con

flussi da 0,15 a 35 L/min. Sono inoltre dotati di un termometro digitale che mostra la temperatura dei gas misurata nel contatore volumetrico. Il flusso di campionamento viene impostato e letto attraverso due flussimetri a galleggiante.

Il Bravo Plus (foto 1) incorpora un modulo di controllo a microprocessore. Il sistema elettronico consente di programmare i campionamenti alla data e all'ora volute. Durante il campionamento la misura del volume e della temperatura al contatore volumetrico avvengono elettronicamente.

Al termine del prelievo lo strumento effettua la normalizzazione dei volumi e fornisce un report dettagliato della misura. Attraverso un'interfaccia RS232 è possibile scaricare su PC l'intero contenuto della memoria (oltre 60 campionamenti). Possiede la funzionalità “gestione mancanza rete” con memorizzazione degli eventi nel report finale. Il flusso prodotto è linearizzato, quindi esente da pulsazioni.

Entrambi i campionatori, inoltre, sono dotati di un vacuometro posto sul pannello, che fornisce il valore di intasamento del dispositivo collegato e permette di testare la tenuta pneumatica.



Foto 1. Campionatore ambientale “Bravo”

Grande importanza assume la scelta del luogo di campionamento, infatti un posizionamento poco rappresentativo dell'ambiente che si intende indagare rende improduttiva l'attività di monitoraggio. generalmente devono essere individuate le aree più rappresentative in relazione all'obiettivo del monitoraggio. La posizione del campionatore nell'ambiente di lavoro influenza fortemente la misura e quindi i risultati.

Nel posizionare la strumentazione di campionamento, va tenuto conto anche dei possibili gradienti di concentrazione che si possono verificare. Se l'ambiente investigato è di grandi dimensioni va valutata la possibilità di effettuare una virtuale suddivisione dell'area e stabilire uno o più siti di campionamento; questo è particolarmente utile se vengono effettuati monitoraggi a breve termine per valutare una specifica fase emissiva (Fuselli et al., 2013).

Durante le prove inerenti questa ricerca, la disposizione in campo è stata scelta tenendo presente principalmente la direzione di lavoro e la direzione e velocità del vento, per i campionatori a bordo campo, mentre uno o due campionatori sono stati sistemati al centro dell'appezzamento sul quale si sono svolte le prove. Nei campionamenti a punto fisso si sono disposti a distanze prestabilite. Sono stati regolati generalmente ad una portata di 15 L/min.

Campionatori per il monitoraggio personale

Sono in tutto simili ai precedenti tranne che per dimensioni e portata massima. Essendo di dimensioni ridotte si prestano ad essere applicati sull'operatore, per avere informazioni delle emissioni di polveri che lo raggiungono durante l'attività; sono posizionabili, inoltre, anche in siti scomodi per sistemare altri strumenti, in cui l'analisi ambientale si rende necessaria e, diversamente, non sarebbe realizzabile.

Nei nostri campionamenti, oltre che sull'operatore sono stati posizionati sulle macchine in movimento e nelle loro cabine, ma anche nei pressi dell'operatore (con diversi preselettori) per avere un riferimento e confrontare i diversi valori tra quelli rilevati sulla macchina e quelli per esempio sul conducente a poca distanza.

Sono stati utilizzati campionatori modello “Ego plus TT” della ditta Zambelli. Questi campionatori lavorano con un range di portate che va da 0,2 a 6,5 L/min (in assenza di filtro), possono essere regolati per campionare in base al tempo di campionamento o al volume aspirato. Sono dotati anch’essi di termometro digitale che consente di avere il risultato del volume campionato, normalizzato rispetto alla temperatura del flusso d’aria. La scelta della portata è variata in funzione della prova (quindi delle polveri cercate), del preselettore utilizzato e del posizionamento del campionatore stesso.

In alcune prove è stato utilizzato un campionatore modello “Leland Legacy” della ditta SKC che ha la possibilità di lavorare a portate maggiori (10 L/min) dei precedenti.

Teste di taglio, preselettori, portafiltri.

Le membrane filtranti durante il campionamento vengono alloggiare in appositi preselettori, collegati al flusso di campionamento, che svolgono duplice funzione.

La prima è chiaramente quella di portafiltro (foto 2), ossia di una sorta di contenitore che permette il passaggio del flusso ed il posizionamento della membrana in maniera tale da poter catturare gli aerodispersi frutto di analisi.

La seconda, di fondamentale importanza, riguarda, appunto, la possibilità di gestire questi contenitori come vere e proprie “teste di taglio”, cioè agire operando una preventiva preselezione nelle polveri campionate grazie a due fattori specifici: la forma costruttiva del preselettore e la portata di campionamento alla quale viene adoperato.

Questa premessa chiarisce da sola l’importanza della preventiva cognizione di ciò che si camperà o che si vorrebbe campionare, quale parametro di valutazione fondamentale nella scelta della strumentazione da utilizzare e dei flussi di portata sui quali regolare i campionatori.



Foto 2. Portafiltro per il campionamento delle polveri totali

Nelle prove abbiamo utilizzato preselettori di diverso tipo a seconda dell'analisi da realizzare e della finalità della prova.

Il preselettore più usato nel caso del campionamento ambientale è stato usato un semplice portafiltro aperto per il campionamento delle polveri totali.

Nel caso dei campionamenti personali si è ricorsi al preselettore Dorr – Oliver che simula le vie respiratorie superiori e funziona attraverso il principio della separazione ciclonica operando così un primo “taglio” (cut-off) delle polveri campionate.

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.

Anche su alcuni campionatori personali sono stati utilizzati dei semplici “grembialini” (piccoli coni) aperti per il campionamento delle polveri totali.

Filtri

Degli oltre 1700 inquinanti presenti nell'aria, elencati nella guida NIOSH / OSHA, poco meno della metà vengono campionati ed adsorbiti su filtri a membrana. Di questi filtri l'80% sono a porosità definita.

Un filtro per il campionamento dell'aria può contenere milioni di pori più piccoli del diametro di un capello umano.

Tanto la porosità, quanto il tipo ed il diametro del filtro dipendono principalmente dall'applicazione richiesta; altre variabili entrano in gioco nella scelta, indirizzandola così verso una membrana piuttosto che un'altra.

Il tipo di elemento da analizzare (caratteristiche chimiche e fisiche), il diametro atteso delle particelle, le analisi successive sul filtro scelto sono parametri base che indirizzano la scelta della membrana in funzione del materiale di fabbricazione.

Dei molteplici materiali disponibili in commercio, infatti, ognuno ha caratteristiche proprie che lo rendono più o meno utilizzabile per i diversi tipi di campionamento. (Tabella 3)

Materiali	Porosità	Caratteristiche	Rapp. costo a MCE(*)	Applicazioni
Esteri misti di cellulosa(*)	0.45 0.8 1.2 5.0	• Idrofila • Solubile agli acidi • Diafanizzabile • Facile scioglimento	1x	• Polveri e metalli • Amianto
PolyvinilCloruro	5.0	• Idrofoba • Non ossidante • Esenti da Silice • Bassa tara	2x	• Analisi gravimetriche • Cromo esavalente
Politetrafluoroetilene	0.5 1.0 2.0 5.0	• Idrofoba • Inerte a solventi ed acidi • Autoclavabile	4x	• Polveri alcaline • Pesticidi • IPA • Isocianati
Policarbonato	0.4 0.8	• Idrofoba • Superficie liscia • Sottile trasparente • Autoclavabile	2x	• SEM • Amianto
Argento	0.45 0.8 1.2 3.0	• Inerte a solventi • Resistente a temperature elevate • Spessore pori uniforme	9x	• Bromo • Amianto • Silice per diff. x
Fibra di vetro	1.0 Nominale	• Parzialmente idrofoba • Resistente a temperature elevate	0.3x	• Pesticidi • Analisi gravimetriche • Isocianati
Fibra di quarzo	1.2 Nominale	• Autoclavabile • Basso contenuto metalli • Resistente a temperature elevate	1.2x	• Aerosol • PM 10 • Polveri Diesel
Cellulosa	–	• Basso contenuto di ceneri	0.03x	• AA • HPLC

Tabella 3. Tipi di filtri, caratteristiche salienti, costo, usi (Fonte: Analitica strumenti, modificata).

Nella presente sperimentazione i campionamenti sono stati effettuati con le seguenti membrane filtranti:

- Teflon (politetrafluoroetilene) con un rinforzo a rete.
- Quarzo, utilizzato per le polveri da legno.
- Nitrato di cellulosa, di impiego generale, adatto all'osservazione miscoscopica.



Foto 3. Filtro montato su portafiltro, senza testa di taglio, durante il campionamento

Il teflon (politetrafluoroetilene, PTFE) è un materiale naturalmente ed estremamente idrofobo, dunque di sicuro utilizzo in condizioni di elevata umidità, che non imbibisce la membrana, anche nelle fasi successive al loro utilizzo e nella conservazione o il trasporto. Sono, quindi, i più consigliati per campionamenti che prevedano una prolungata esposizione all'aperto.

Questa caratteristica rende possibile anche il condizionamento per minor tempo rispetto ad altre membrane laddove si avesse bisogno urgente del filtro per la realizzazione della prova. Queste membrane sono utili per campionare sostanze aggressive, acidi, basi e solventi e, seppur preferibili per alcuni tipi di campionamento, si adattano a più usi. Sono adatti all'analisi chimica del contenuto delle polveri trattenute.

Il loro costo è abbastanza oneroso, ma per alcune applicazioni dove sia previsto dal metodo, per esempio, una estrazione con solvente, non trovano riscontri alternativi. Essendo molto leggeri l'effetto "tara" è bassissimo.

Durante le prove sono stati utilizzati filtri "*Fluoropore*" della ditta Millipore con diametri di 47 mm per i campionatori ambientali, e 37 mm per i personali entrambi con porosità di 0,5 μm e spessore di 0,15 mm.

La loro leggera elettrostaticità, dovuta forse alla rete di rinforzo, può causare perdita di tempo durante le pesate per l'attesa della stabilizzazione della bilancia. La stessa rete li rende poco adatti alla visione al microscopio elettronico.

Al di sotto del filtro (solo quello in teflon) abbiamo disposto (dove non presenti sul portafiltro) dei "pad" di cartoncino per evitare rotture del filtro stesso (un supporto a tutti gli effetti) della stessa ditta Millipore.

Il quarzo è idrofilo. La composizione in "purezza" dei filtri gli impedisce di reagire con i gas acidi. Questo li rende adatti per misurare le concentrazioni di metalli pesanti e piccole quantità di particelle (inquinanti in tracce). Hanno un basso contenuto di metalli e totale assenza di leganti organici (instabili all'analisi chimica). La loro elevata compatibilità chimica, grazie alla robustezza dei materiali, garantisce nessuna perdita di materiali anche alle condizioni più estreme.

Possono lavorare a temperature elevate ed hanno una elevatissima capacità di ritenzione di particelle ultrafini (efficienza di ritenzione 0,3 μm a 32 L/min).

Sono indicati per i campionamenti di PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$ e grazie alla loro elevata resistenza meccanica sono ideali per i campionamenti ad alto volume.

Sono stati utilizzati per campionare polveri di legno durante le operazioni di cippatura. Le membrane utilizzate sono del tipo "*QF20*" della ditta Schleicher & Schuell di 47 mm di diametro, con porosità 0,3 μm e spessore di 0,4 mm.

Le membrane in quarzo sono poco elettrostatiche e le pesate sono prive di incertezza, di contro, però, essendo idrofile necessitano assolutamente di condizionamento. Il loro costo è sostenibile.

Gli esteri misti di cellulosa sono una speciale miscela tra nitrato ed acetato di cellulosa che trovano impiego in molteplici applicazioni analitiche tra cui la fluorescenza, l'infrarosso, la diffrazione a raggi x. Sono elastici e poco sensibili alle cariche elettrostatiche. Sono ottimi per la ricerca di fibre aerodisperse. Il loro costo non è elevato.

La membrana in esteri di cellulosa è biologicamente inerte, risulta essere la tipologia più utilizzata nelle applicazioni analitiche, di ricerca e per le analisi microbiologiche. Essa è caratterizzata da una superficie più liscia e uniforme rispetto alle membrane in pura nitrocellulosa ed il contrasto generato sulla superficie facilita la rilevazione delle particelle, riducendo l'affaticamento dell'occhio al microscopio.

Sono stati utilizzati filtri in acetato di cellulosa di 47 mm e 37 mm di diametro e porosità 0,22 μm della ditta Sartorius.

Per quello che riguarda le scelte, nel caso delle sperimentazioni trattate in questo lavoro quella dei diametri è stata dettata dalla compatibilità con le analisi e con le teste di taglio o portafiltri in dotazione ai nostri campionatori (da 37 e 47 mm).

Il ciclone Dorr-Oliver per le sue caratteristiche di funzionamento concentra le polveri al centro della membrana; avere, quindi membrane compatibili con il campionamento personale, con una superficie maggiore di contatto avrebbe fornito migliori risultati.

La scelta della porosità (0,45 μm) è garanzia di deposito di polveri già di dimensioni ridotte, si voleva adsorbire la maggior quantità di polveri possibile; ciò risponde a due esigenze logistiche e di organizzazione del lavoro.

La prima riguardava la necessità operativa di avere nel campionamento polveri sottilissime per esigenze di studio del comportamento delle api al contatto con polveri finissime di insetticida.

La seconda riguarda la durata, a volte davvero breve delle operazioni campionate: per non correre il rischio di perdere materiale importante ai fini dell'analisi si è preferita una membrana con minore porosità; non si rischiava di

causare intasamenti del filtro con conseguente sforzo del campionatore e diminuzione del rendimento (per lo stesso motivo).

I filtri sono stati condizionati con un procedimento standard:

Prima della prova (filtro scarico)

- In camera controllata ad umidità 50% circa e temperatura 20 C° circa, si condizionano i filtri per 24 /48 ore
- Pesata su bilancia a microgrammi (6 zeri) operando una prima tornata di pesate e poi una seconda per avere un peso medio.

Dopo la prova (filtro carico) si procede come sopra.

La movimentazione dei filtri è avvenuta in apposite scatole portafiltro in plastica non conduttiva della Millipore.

La bilancia utilizzata è una Gibertini mod. "*Crystal*".

Altri materiali

Per tutta la durata delle prove, due centraline meteo hanno registrato i dati di direzione e velocità del vento, temperatura, umidità relativa.

Piastre Petri con acqua ed acetonitrile (1:1) sono state utilizzate nella semina del mais per il campionamento passivo delle polveri a terra.

Anemometri a filo caldo nei condotti per eseguire le prove in condizione di isocinetismo.

Scenario 1. Particolato aerodisperso derivante da abrasione di semente di mais conciata con insetticidi.

L'impiego di semente conciata nella semina del mais (*Zea mays* L.) è una pratica molto diffusa, in quanto consente un'efficace azione di controllo contro gli insetti terricoli ed i fitomizi in genere. Tra gli insetticidi finora più utilizzati si annoverano alcuni neonicotinoidi (Elbert et al., 2008), quali: il Gaucho™ (p.a. imidacloprid), il Cruiser™ (p.a. thiamethoxam) e il Poncho™ (p.a. clothianidin). A questi si aggiunge il Regent™ (p.a. fipronil). Nel nostro paese si tratta di impieghi consistenti, in quanto l'Italia è uno dei primi produttori europei di mais con una superficie 808.317 ha nel 2013 (Istat, 2014).

La concia consente sostanzialmente di impiegare una piccola dose di prodotto con una limitata dispersione nell'ambiente del principio attivo, in quanto applicato esattamente sul bersaglio. Tuttavia, durante il trasporto e la manipolazione dei sacchi di semente e durante il percorso del seme all'interno della macchina seminatrice, una certa quantità della pellicola che riveste il seme si stacca, trasformandosi in polvere. Si tratta quindi di uno scenario particolare, differente dagli altri oggetto del mio lavoro, in quanto in questo caso il particolato, oltre ai classici rischi legati all'inalazione di polveri sottili, contiene dei principi attivi, associati ad un rischio chimico. La quantità massima ammissibile di polvere da abrasione per una semente commerciale di mais è pari a 3 g per 100 kg di seme.

Negli ultimi anni le perdite di polvere contenente i citati principi attivi (p.a.) durante la semina con seminatrici pneumatiche è stato alla base di fenomeni di esposizione di api e di altri insetti pronubi (Nuyttens et al., 2013; Greatti et al., 2006; Greatti et al., 2003; Tremolada et al., 2010). A partire in particolare dagli '90, è stata segnalata una concomitanza fra l'impiego di semente di mais conciata durante la semina primaverile del mais e casi di mortalità e spopolamento degli alveari, dovuti ad intossicazione diretta (Pistorius et al., 2010), oppure ad effetti sub-letali (Bortolotti et al., 2003; Colin et al., 2004; Bonmatin et al., 2005). Tali effetti contribuirebbero anche al complesso fenomeno della sindrome dello spopolamento degli alveari, il cosiddetto CCD (Colony Collapse Disorder), (Maini et al., 2010; Bortolotti et al., 2010), un fenomeno osservato sia in Europa che nel Nord America.

Si è quindi ipotizzato che le suddette sostanze disperse in ambiente per effetto della deriva, anche in piccole dosi, possano risultare dannose per le api.

Le seminatrici pneumatiche di precisione impiegate per la semina del mais giocano un ruolo fondamentale nella dispersione di queste polveri da abrasione. Tali macchine, infatti, funzionano sulla base di una depressione (in genere intorno ai -42 mbar) creata da un aspiratore centrifugo, che trattiene i singoli semi in fori posti alla periferia di un disco verticale alloggiato in una apposita camera di distribuzione a tenuta. I semi restano applicati in corrispondenza di ciascun foro per tutta la durata dell'effetto aspirante nelle fasi d'alimentazione e distribuzione, e successivamente cadono, tramite un tubo adduttore, nel solco aperto nel terreno. Il distacco del seme avviene mediante una netta interruzione della depressione in corrispondenza della posizione delle "ore 3" del disco di distribuzione, che determina una caduta verticale del seme per gravità. L'aria aspirata (prodotta dal ventilatore della macchina) viene espulsa all'esterno attraverso una bocchetta di scarico, trascinando con sé polveri e frammenti di semi contenenti una certa quantità di conciante e destinati in parte a depositarsi nel terreno e in parte a diffondersi nell'aria, soprattutto in presenza di vento.

Nella seguente tabella vengono riportati dei valori di composizione delle polveri derivanti dai dati forniti dai produttori di mais conciato e ricavati da misurazioni fatte presso il CRA-ING (Pochi, dati non pubblicati).

Componente	Principio attivo / funzione	mg seme ⁻¹
Gaucho™	imidacloprid	1,00
Poncho™	clothianidin	1,25
Cruiser™	thiamethoxam	0,60
Regent™	fipronil	0,50
Celest XL (fungicida comune ai quattro prodotti)	metalaxil + fludioxonil	0,008
Sepiret 9290F Red	(colorante-legante)	0,384
Frammenti di seme + inerti (coformulanti)	-	≅ 8

Tabella 4. Principali componenti delle polveri di abrasione delle sementi conciate.

Quando le polveri sono disperse nell'ambiente, esse possono entrare in contatto con le api (e con gli altri insetti pronubi) in diversi modi. Le api infatti possono bottinare fiori contaminati (sia direttamente, sia per la presenza del p.a. disperso sistemicamente nella pianta), sia per contatto diretto con il particolato durante il volo. L'esposizione diretta durante il volo inoltre potrebbe essere accentuata dall'anatomia dell'insetto che ha il corpo ricoperto di peli funzionanti come efficienti trappole elettrostatiche di particolato atmosferico (Prier et al., 2001; Tremolada et al., 2010). Un'altra modalità ipotizzata è che le api possano abbeverarsi direttamente di gocce di guttazione delle foglie del mais (Girolami et al., 2009).

Quale che sia la modalità di contatto, le api mostrano un'elevatissima sensibilità agli insetticidi impiegati. Nella tabella 5 si riportano i valori di DL₅₀ ai vari p.a.

Principio attivo	DL ₅₀ contatto [ng ape ⁻¹]	Autori
imidacloprid	60 (48 h); 40 (72 e 96 h)	Suchail et al. (2001)
imidacloprid	18	Iwasa et al. (2004)
clothianidin	22	“
thiamethoxam	30	“
fipronil	4	Tingle et al. (2003)

Tabella 5. Valori di tossicità acuta per le api dei prodotti oggetto di studio.

Ben più complesso è l'aspetto riguardante gli effetti sub letali a carico delle api. In questo caso, la definizione di un valore soglia è particolarmente complessa, specie negli insetti sociali (Desneux et al., 2007). Una bassa dose di fipronil (0,5 ng ape⁻¹) compromette l'apprendimento olfattivo delle api (El Hassani et al., 2005) e, sempre per il fipronil, sono stati osservati effetti sub-letali con tassi di applicazione da 0,075 a 0,15 ng ape⁻¹ al giorno, che rappresentano rispettivamente 1/80 e 1/40 della DL₅₀ (Chauzat et al., 2006). Bortolotti e collaboratori (Bortolotti et al., 2003) hanno studiato gli effetti sub-letali causati dall'ingestione di una soluzione con 100 ppb di imidacloprid. Inoltre, è stato dimostrato che una singola somministrazione di clothianidin alla dose di 0,7 ng ape⁻¹, compromette la capacità delle api di tornare all'alveare. Alla dose di 0,47 ng ape⁻¹, le api trattate ritornano all'alveare, ma senza essere in grado di svolgere in modo adeguato la funzione di bottinamento per diverse ore (Apenet, 2011). Dosi subletali (0,21 ng ape⁻¹) di imidacloprid possono compromettere la salute della colonia attraverso l'alterazione della danza dell'ape (Eiri e Nieh, 2012).

Preso atto della pericolosità potenziale dimostrata dai citati insetticidi per la concia delle sementi, a partire dal settembre del 2009, le autorità competenti hanno deciso la sospensione dell'impiego dei quattro p.a. Tale sospensione, tuttora in vigore, è stata poi adottata anche a livello di Unione Europea ai tre neonicotinoidi. Il 29 aprile 2013 la CE ha disposto la sospensione di due anni, a partire dal 1 dicembre 2013, dei principi attivi imidacloprid, clothianidin e

thiamethoxam, allargando le restrizioni dalla concia del seme anche ai trattamenti fogliari sulle piante attrattive per le api.

I primi sistemi di contenimento della deriva messi in commercio dalle ditte costruttrici delle seminatrici sono stati dei deflettori del flusso d'aria emesso dalla macchina. Si tratta di un sistema di collettori che intercettano il flusso d'aria espulso dal ventilatore della macchina e lo convogliano verso il terreno, in prossimità del solco aperto per la semina. Tali sistemi determinano una riduzione della deriva, che, in linea di massima, si aggira intorno al 50%, in funzione del principio attivo impiegato.

In prove effettuate presso il CRA-ING, negli anni precedenti al periodo di dottorato (ma alle quali ho collaborato) risultarono i valori di abbattimento riportati in tabella 6.

Test	anno	imidacloprid	clothianidin	thiamethoxam	fipronil
In parcelle piccole	2009	14,6%	42,8%	48,2%	-
In parcelle grandi	2010	71,7%	35,2%	39,8%	61,9%
A punto fisso	2010	72,8%	53,4%	53,5%	60,7%

Tabella 6. Valori percentuali degli abbattimenti delle emissioni provocate dall'impiego dei deflettori.

La riduzione della deriva generata dai deflettori, però, è stata ritenuta insufficiente a preservare le api da possibili danni, in particolare per gli effetti sub-letali. Per questo motivo i progetti successivi si sono incentrati sulla ricerca di soluzioni ingegneristiche più efficaci.

Sussiste poi un'altra problematica, rappresentata dall'esposizione alle polveri da abrasione degli operatori coinvolti nelle operazioni di semina.

Gli operatori possono essere esposti durante le fasi di apertura e di manipolazione dei sacchi di semente, durante il riempimento delle tramogge e

durante la semina vera e propria, specialmente se, come spesso avviene, si impiegano trattori senza cabina condizionata e con le portiere lasciate aperte. L'esposizione avviene principalmente per inalazione del particolato, ma anche il contatto e l'ingestione devono essere considerate come possibili vie di contaminazione. Relativamente ai principi attivi oggetto della ricerca, nella seguente tabella si riportano i valori di concentrazione letale per inalazione per il ratto (CL_{50}) e la massima dose di esposizione consentita per l'operatore, con un esempio della dose accettabile per un operatore del peso corporeo di 75 kg.

Principio attivo	CL_{50} mg L⁻¹	AOEL mg Kg⁻¹ peso giorno⁻¹	Operatore mg (75 kg)⁻¹ giorno⁻¹
clothianidin	> 5,54	0,1	7,5
Fipronil	0,36	0,0035	0,2625
imidacloprid	> 0,068	0,08 - 0,06	6 - 4,5
thiamethoxam	> 3,72	0,08	6

Tabella 7. Concentrazione letale dei p.a. per il ratto e massima dose consentita per l'operatore (Fonte: PPDB: Pesticide Properties DataBase, <http://sitem.herts.ac.uk/>)

Il mio lavoro ha fatto riferimento in particolare al ruolo delle seminatrici nella dispersione delle polveri. Gli interrogativi a cui si è provato a dare risposta sono stati:

1. Qual è la quantità di p.a. complessivamente espulsa dalla seminatrice con le polveri da abrasione?
2. Qual è la quantità di p.a. soggetta a deriva e come si distribuisce nella zona circostante al campo di semina?
3. Quali sono gli interventi che consentono di ridurre o eliminare il contatto fra le api e il p.a.?
4. Quali sono le dosi di p.a. potenzialmente inalabili dagli operatori coinvolti nelle operazioni di semina?

Individuata la correlazione fra le quantità di cui ai punti 1 e 2 dovrebbe essere possibile stabilire un valore soglia della quantità di p.a. espulso dalla seminatrice con le polveri di abrasione oltre il quale non si deve andare, e sulla base del quale si potrà stabilire una metodologia per la valutazione delle seminatrici e delle modifiche su di esse eventualmente apportate.

Infine, riguardo al punto 3, dalla collaborazione con le parti coinvolte nel problema, segnatamente con i costruttori di macchine agricole, si è realizzata un'attività di studio di soluzioni finalizzata all'abbattimento della quantità di polveri emesse dalle macchine con due obiettivi: ridurre le emissioni delle macchine usate mediante l'applicazione di modifiche relativamente semplici e poco costose; in prospettiva, favorire lo sviluppo di nuove macchine con l'obiettivo "zero emissioni".

Durante questa attività ho potuto seguire le modifiche della seminatrice, tutte le prove in campo e a punto fisso, organizzare la distribuzione dei campionatori (ambientali e personali) e relativi filtri e di una parte dell'elaborazione dei dati riguardanti le prove e della raccolta dei dati meteorologici.

La parte di analisi chimica dei campioni è stata realizzata presso i laboratori del CRA-PAV, che hanno collaborato alle ricerche.

Il progetto ha interessato tutto il periodo di Dottorato.

Materiali e metodi

Seminatrici

Nelle prove è stata utilizzata una seminatrice pneumatica di precisione a sei file Gaspardo, modello Magica, a cui, di volta in volta, venivano implementati i sistemi di contenimento della deriva messi a punto dal CRA-ING. Durante il progetto Apenet è stato realizzato un sistema (brevettato) basato sul principio di trattenere, per quanto possibile, il flusso d'aria prodotto dal ventilatore all'interno della seminatrice, facendo ricircolare l'aria in un collettore appositamente aggiunto e filtrando l'aria stessa prima della sua definitiva espulsione. Sono stati impiegati dei filtri antipolline a carboni attivi di uso automobilistico per il primo

prototipo (denominato P2) e un ulteriore filtro elettrostatico (alimentabile dal sistema elettrico a 12 V del trattore) per il secondo prototipo (denominato P3).

I sistemi possono essere smontati senza particolari difficoltà dalla seminatrice, riportando la macchina alla sua configurazione iniziale e consentendo così i test di comparazione delle prestazioni in termini di efficacia della riduzione della deriva.



Foto 4. La seminatrice modificata nella configurazione prototipale P2.

Sistema di prove a punto fisso

Le prove statiche, realizzate presso il CRA-ING sulle seminatrici sono state finalizzate a un duplice scopo:

- 1) simulare delle prove di semina in condizioni controllate per verificare la deriva delle polveri (valutazione della dispersione);**
- 2) effettuare dei test sulle seminatrici modificate con i dispositivi di contenimento della deriva (valutazione delle polveri totali prodotte).**

In entrambi i casi la seminatrice, tenuta sollevata dal suolo, è stata azionata da due motori elettrici che provvedevano rispettivamente al movimento della ruota motrice della seminatrice (per il funzionamento del sistema di distribuzione

del seme) e all'azionamento del ventilatore della seminatrice stessa. La seminatrice poteva così simulare una semina effettuata ad una velocità virtuale di avanzamento di $6,0 \text{ km h}^{-1}$ e con una depressione nel sistema pneumatico della seminatrice di -42 mbar .

Per le **prove di simulazione della semina** è stata realizzata, nel portico adiacente l'officina dell'istituto, una sorta di galleria del vento attraverso la chiusura del lato esterno con degli appositi teli. Nell'area di prova viene collocato un ventilatore, per generare il vento artificiale, la seminatrice, che opera a punto fisso, e una serie di captatori, disposti in una zona lunga $22,5$ e larga $4,5$ m, sottovento alla macchina.

Nell'area di campionamento la velocità media del vento a 2 m di altezza è pari a $1,3 \text{ m sec}^{-1}$ (min. $0,8$, max $2,0 \text{ m sec}^{-1}$). Il campionamento delle polveri viene realizzato in modo attivo, tramite 5 pompe con membrane filtranti in PTFE disposte a una distanza di $4,5 \text{ m}$ l'una dall'altra e in modo passivo (residui a terra) tramite una serie di piastre Petri (in totale 15), riempite di una soluzione di acetonitrile e acqua. Lo schema dell'area di prova è riportato nella figura 2.

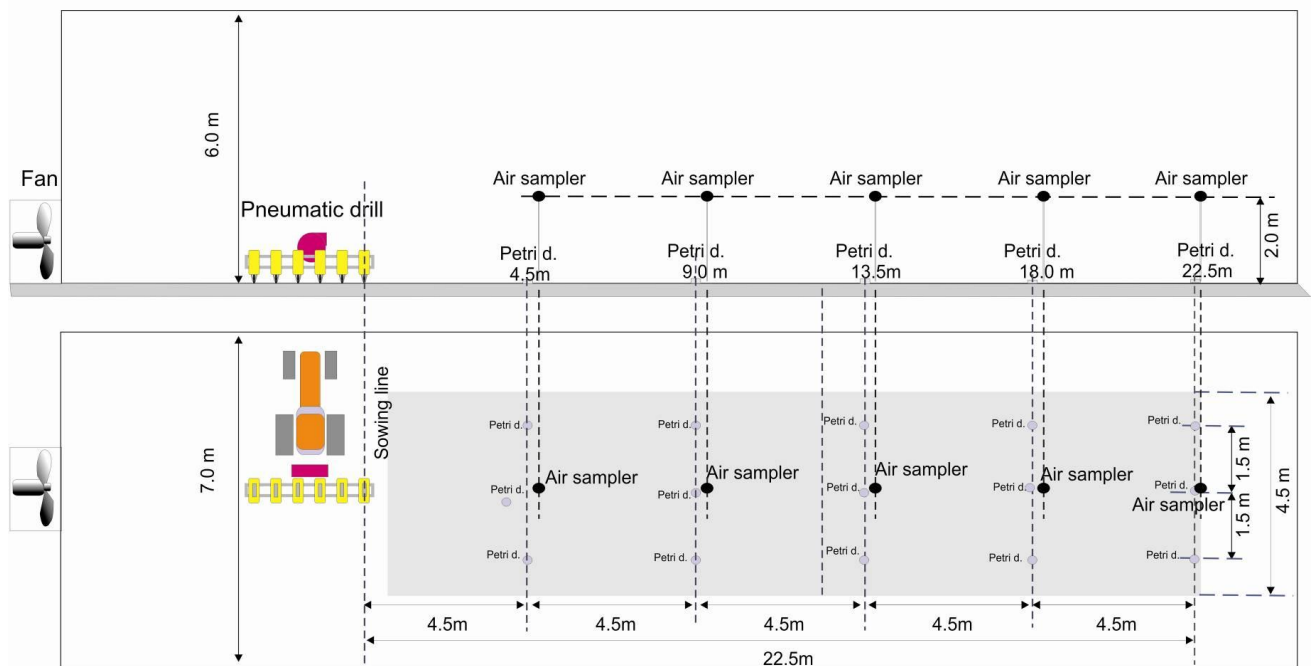


Figura 2. Schema dell'area di prova per le simulazioni di semina.

La seminatrice è stata regolata come segue: velocità di avanzamento simulata: 6,0 km h⁻¹; distanza tra le file: 0,75 m; distanza seme sulla fila: 0,18 m; densità di semina: 75.000 semi ha⁻¹; depressione: 45 mbar. Queste stesse condizioni di semina possono essere replicate per le prove in campo.

Durante ciascuna prova, sono stati distribuiti 25.000 semi, pari ad una superficie teorica seminata di 3.333 m². Ogni prova di semina, della durata di 7'30'', è stata replicata tre volte.

Le prove a punto fisso che hanno interessato i prototipi realizzati presso il CRA-ING sono state svolte in collaborazione con il CNR-IIA di Montelibretti (Roma).

Durante tali prove, quattro condotti intercettano in flusso in uscita dal ventilatore della seminatrice, che viene canalizzato in un unico tubo, del diametro di 118 mm (tubo di prelievo). Su questo tubo sono state condotte alcune prove preliminari finalizzate principalmente a determinare le condizioni di isocinetismo, indispensabili per operare un corretto campionamento delle polveri. I campionamenti sono consistiti nella determinazione del materiale aerodisperso raccolto tramite campionatori d'aria all'interno del tubo di prelievo da 118 mm.

Sono state eseguite prove di campionamento con diverse modalità di funzionamento dei prototipi CRA-ING, ottenute attraverso la diversa collocazione dei condotti aggiunti:

- macchina convenzionale (senza filtrazione né ricircolo);
- macchina con solo ricircolo;
- macchina con ricircolo e sistema APF (prototipo P2 completo);
- macchina con ricircolo, sistema APF e filtro elettrostatico (prototipo P3 completo).

Le prove sono state svolte utilizzando semente conciata con il prodotto Gaucho™ (p.a. imidacloprid).

Prove in campo

Le prove in campo sono consistite nella semina di ampie parcelle sperimentali (da 3,5 a 8,0 ha), utilizzando seme commerciale conciato con i quattro p.a. oggetto di studio. Si è quindi trattato di effettuare delle vere e proprie semine, ripetendo le condizioni di eventuale dispersione di polvere che si verifica nelle realtà operative.



Foto 5. disposizione dei captatori dell'aria a bordo campo durante le prove di semina con la seminatrice modificata.

Le prove hanno riguardato il confronto tra macchina seminatrice convenzionale e macchine dotate dei sistemi messi a punto presso il CRA-ING. Per il campionamento del particolato si sono utilizzate dei captatori passivi (piastre Petri) e attivi (campionatori d'aria). Le piastre Petri, che catturano il particolato che raggiunge il terreno, sono state disposte sui quattro lati del campo seminato (N,S, E e W), in numero di cinque per lato, a 5 m dal bordo della parcella. La disposizione su tutti e quattro i lati è funzionale al fatto che, spesso, il vento cambia direzione e quindi risulta difficile stabilire con sicurezza la direzione prevalente

del vento per tutta la durata della prova (di notevole lunghezza, vista la dimensione delle parcelle di semina).

Nello stesso tempo, sono stati posti quattro campionatori d'aria, accoppiati, al centro e al bordo del campo, che campionavano a 2 e 5 m di altezza. Un ulteriore campionatore (tipo personal) è stato posto anche in prossimità della cabina del trattore, per catturare le polveri che possono raggiungere l'operatore (foto 6).



**Foto 6. Un campionatore personale adattato
al campionamento su trattore**

Durante le prove, sono state anche effettuate delle misurazioni per studiare la potenziale esposizione degli operatori durante la manipolazione e il carico della tramoggia del seme. In questo caso si è utilizzato un campionatore personal, senza alcuna testa di taglio.

Le condizioni micrometeorologiche sono state monitorate di continuo durante tutta la prova, tramite una centralina meteo portatile (Kestrel), che acquisiva i dati di temperatura, umidità relativa, velocità e direzione del vento con una frequenza pari a 2 minuti (vedi tabella 8).

Operazione	Macchina	P.a.	Temperatura dell'aria °C	U. R. %	Velocità del vento m sec ⁻¹	Direzione del vento	Pressione atmosferica mbar
Semina	P2	c	32,6	41,4	1,1	SE	1011
	P2	t	16,0	58,5	0,2	variabile	1009
Carico	P2	i	25,0	32,0	0,4	variabile	1018
	Co	i	26,0	47,0	0,5	variabile	1020
	P2	t	17,4	52,3	0,8	variabile	1009
	Co	t	15,6	36,5	4,4	W	1016
	P2	c	18,6	30,1	5,8	N	1016
	Co	c	18,9	29,5	5,6	N	1016
Semina	P2	f	18,5	n.d.	0,7	NNW	1015
	Co	f	20,7	29,4	0,7	NW	1015
	P3	i	23,1	43,6	1,5	E-NE	1018
	P2	i	25,9	30,4	0,4	variabile	1018
	Co	i	26,5	46,1	0,9	variabile	1020

Tabella 8. Condizioni micrometeorologiche durante le prove (c=clothianidin; f=fipronil; i=imidacloprid; t=thiamethoxam; Co=macchina convenzionale, P2= prototipo con solo filtro APF; P3=prototipo con filtro APF+ elettrostatico).

Risultati relativi alle prove di simulazione della semina a punto fisso

Le simulazioni di semina hanno fornito le prestazioni della seminatrice modificata (prototipo P2 del CRA-ING) in termini di riduzione della deriva di polveri da abrasione dalle semente conciate. I risultati delle analisi chimiche dei filtri e delle piastre Petri, sono stati ricondotti in termini di μg di principio attivo a livello del terreno ($\mu\text{g m}^{-2}$ – conoscendo la superficie delle piastre) oppure come concentrazione nell'aria ($\mu\text{g m}^{-3}$ – conoscendo i volumi d'aria aspirati dalle pompe).

Il prototipo testato ha consentito una notevole riduzione delle emissioni di polvere da abrasione. I grafici 5 e 6 mostrano i dati ottenuti dalle analisi dei captatori (membrane filtranti e piastre Petri).

È stato interessante notare come le concentrazioni nell'aria, per tutti e quattro i p.a. considerati, non seguono un andamento di deriva simile a quello tipico osservabile invece a livello del terreno, dove, come ci si aspettava, i residui sono inversamente proporzionali alla distanza dalla fonte di emissione (ovvero dalla seminatrice). Sembra che le polveri in aria rimangano sospese durante la prova, formando una specie di “nuvola” di particolato che contribuisce alla

saturazione dell'atmosfera nell'area confinata. Questo fenomeno è verosimilmente dovuto alla frazione di particolato più sottile in termini di diametro aerodinamico.

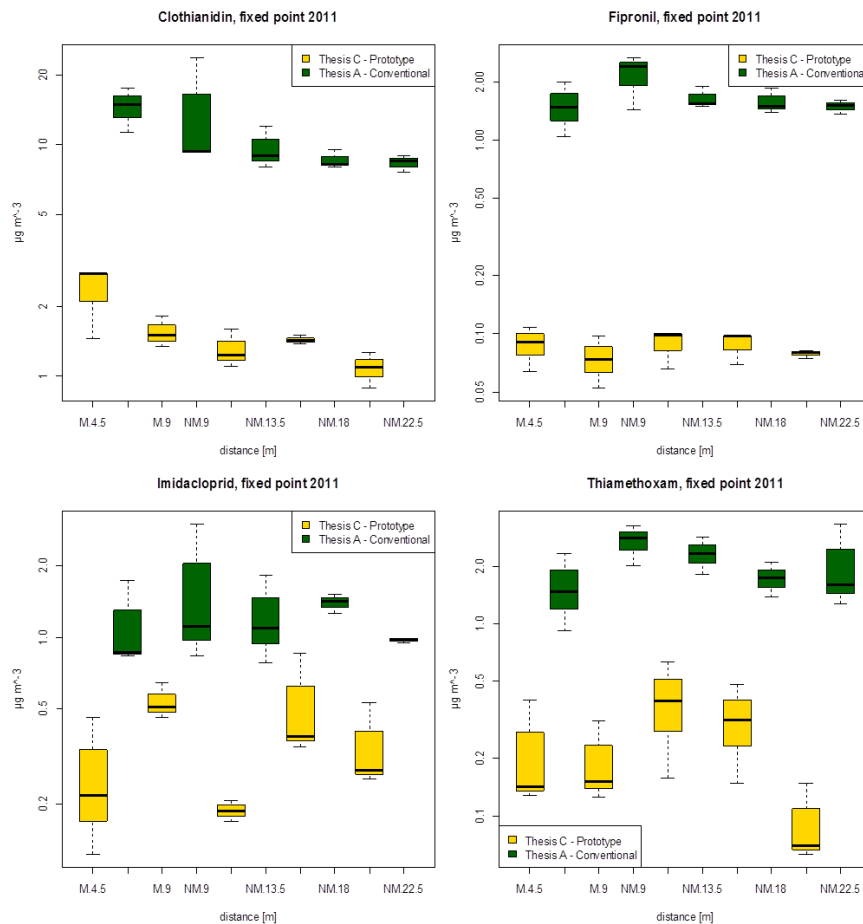


Grafico 5. “Box & whiskers” delle concentrazioni nell’aria ($\mu\text{g m}^{-3}$) registrate nelle prove a punto fisso per i quattro p.a. oggetto di studio (banda centrale = mediana; box = 1° e 3° quartile; whiskers = massimo e minimo).

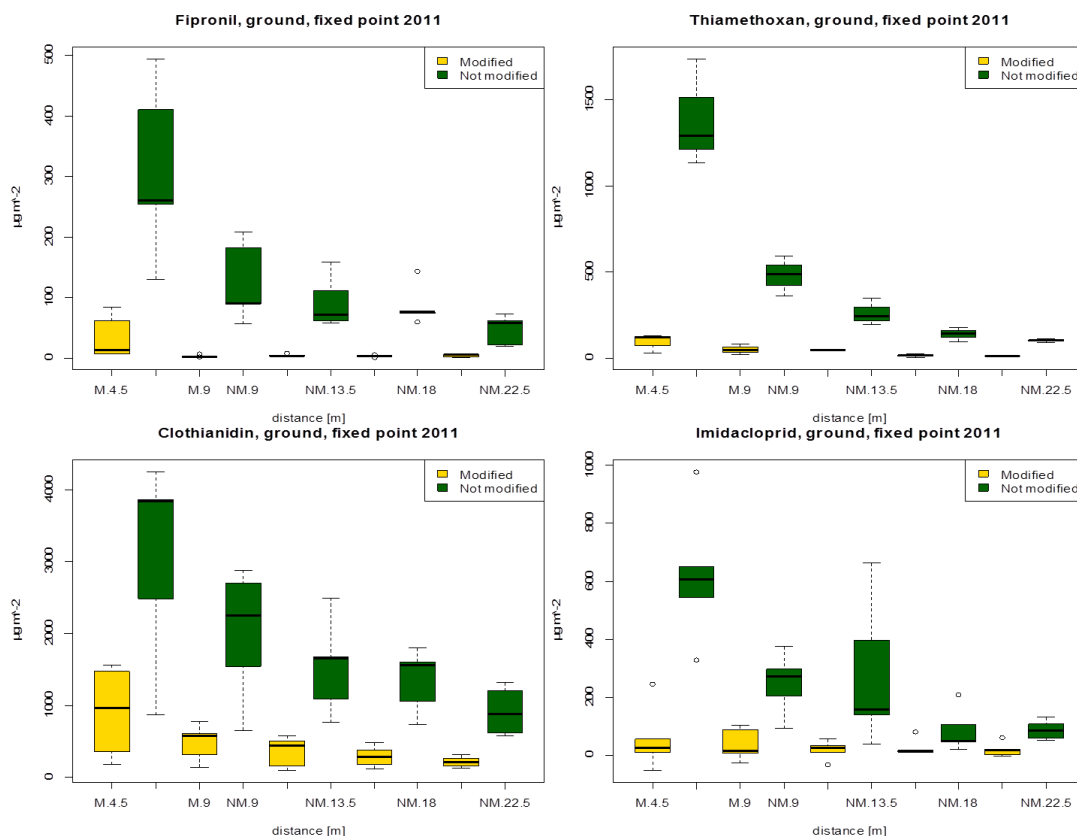


Grafico 6. “Box & whiskers” dei residui a terra ($\mu\text{g m}^{-2}$) registrate nelle prove a punto fisso per i quattro p.a. oggetto di studio (banda centrale = mediana; box = 1° e 3° quartile; whiskers = massimo e minimo).

Nella tabella 9 riportati i valori di riduzione percentuale dell’emissione ottenuti nell’aria e quelli a livello del terreno.

P.a.	Terreno	Aria
Clothianidin	74,4%	86.0%
Fipronil	92,1%	95.0%
Imidacloprid	86,2%	70.7%
Thiamethoxam	90,6%	88.2%

Tabella 9. Riduzioni percentuali dell’emissione di p.a. contenute nelle polveri di abrasione con l’impiego della seminatrice modificata (prototipo P2).

Risultati dei test a punto fisso sulle seminatrici modificate con i dispositivi di contenimento della deriva (valutazione delle polveri totali prodotte).

Per quanto riguarda i test condotti sulla seminatrice modificata (prototipo CRA-ING) i risultati sono espressi in concentrazione di p.a. attivo nell'aria ($\mu\text{g m}^{-3}$) e mostrano la riduzione percentuale del contenuto di imidacloprid dovuto all'impiego delle modifiche. Grazie al sistema sperimentale adottato, che permette di convogliare l'aria prodotta nella ventola direttamente nel tubo di campionamento oppure dopo che il flusso d'aria è stato sottoposto alle diverse componenti del prototipo, si è potuto meglio comprendere il funzionamento del prototipo stesso. È interessante notare che il contributo dato dal solo ricircolo dell'aria all'interno della seminatrice prima della sua definitiva espulsione, consente il trattenimento di circa il 92% del p.a. contenuto nelle polveri prodotte. Il collettore, infatti, funziona alla stregua di un impattore, in grado di trattenere buona parte delle polveri attraverso il loro deposito. L'aggiunta poi del sistema di filtrazione a carboni attivi (filtro APF), incrementa l'abbattimento, portandolo a circa il 99%. Ovviamente il miglior risultato (quasi il 100%) si ottiene quando al sistema viene aggiunto anche il filtro elettrostatico, in grado di trattenere anche particolato molto sottile. Nella tabella 10 sono riportati i risultati delle prove in termini di riduzione percentuale rispetto alla macchina convenzionale, ovvero senza modifiche montate.

Tesi	Concentrazione dell'aria [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Riduzione rispetto alla convenzionale [%]
1. Seminatrice convenzionale	2.704,2	-
2. Solo ricircolo	215,2	92,04
4. Prototipo P2 (filtro APF + ricircolo)	12,0	99,56
5. Prototipo P3 (filtro APF + elettrostatico + ricircolo)	0,53	99,98

Tabella 10. Valori percentuali di abbattimento delle polveri indotti dai prototipi P2 e P3 e contributo dei componenti del prototipo all'abbattimento complessivo.

Risultati relativi alle prove di campo

Le prove di campo hanno confermato in linea generale i risultati ottenuti nelle prove statiche, seppur con alcune differenze, anche di una certa entità. I risultati, riportati nel grafico 7 per quanto riguarda i residui a livello del terreno e nella tabella 11 per l'aria, mostrano diversi valori di abbattimento delle polveri a seconda del principio attivo impiegato.

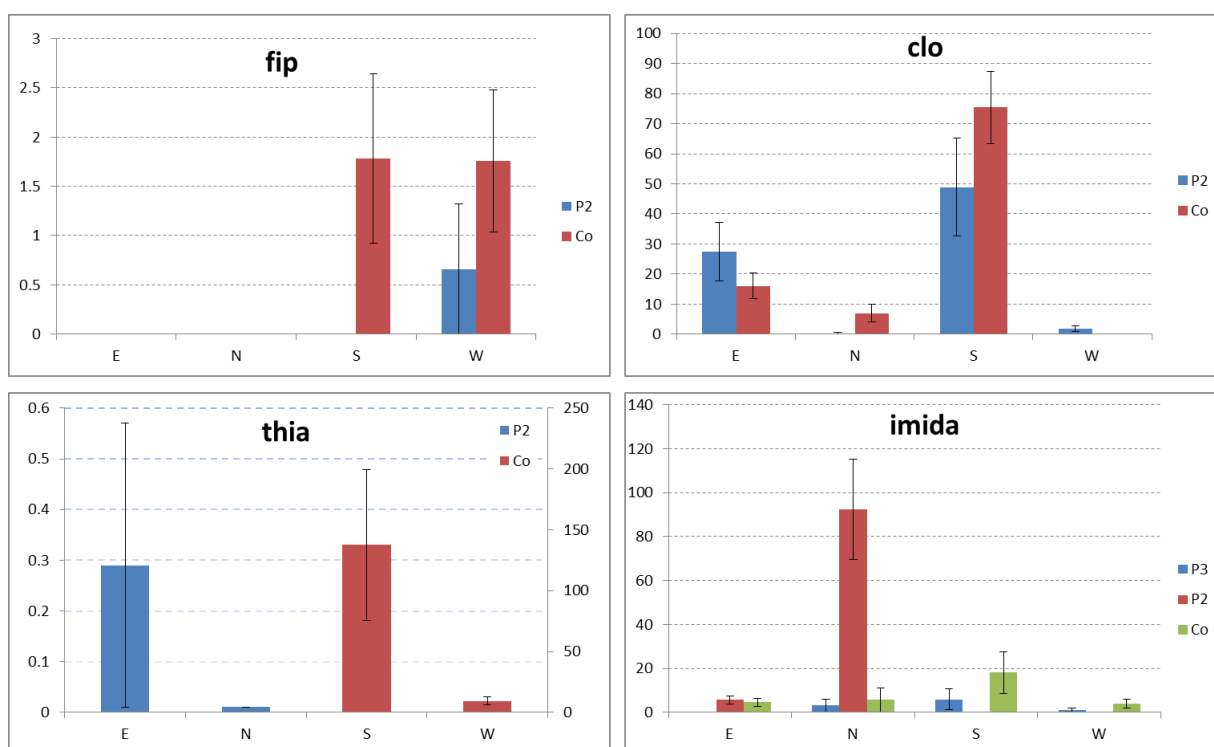


Grafico 7. Valori del residuo ($\mu\text{g m}^{-2} \pm \text{e.s.}$) registrati nelle piastre Petri, sui quattro lati delle parcelle di semina, per i quattro principi attivi.

A livello del terreno, il prototipo P2 fa registrare un ottimo risultato per thiamethoxam, con un abbattimento pari al 99,8% e per il fipronil (81,1%), mentre per il clothianidin si arriva ad appena il 23,2%. Inoltre, per quanto riguarda imidacloprid, il risultato è opposto, con un incremento dell'emissione dovuto all'impiego del prototipo.

Per il P3 (filtro elettrostatico), testato solo con imidacloprid, l'abbattimento registrato è stato pari al 63,7%.

Risulta quindi che nelle prove di campo i fattori ambientali, tenuti sotto controllo nelle prove statiche, hanno influenzato in qualche modo i valori registrati. Non è escluso che occasionali episodi di contaminazione abbiano

provocato “picchi” di concentrazione in qualche captatore. Tale problematica potrebbe essere ovviata se si potesse disporre della possibilità di effettuare più repliche della semina e si potesse operare solo in giornate con condizioni meteorologiche più stabili.

Nel complesso, i valori di abbattimento delle polveri a livello di concentrazione nell'aria (tabella 11), risultano più aderenti ai risultati ottenuti a punto fisso.

P.a.	Valori medi di 5 campionatori [$\mu\text{g m}^{-3}$]			Riduzione della deriva [%]	
	Co	P2	P3	P2	P3
Clothianidin	0,225 $\pm$ 0,085	0,123 $\pm$ 0,110	-	45,7	-
Fipronil	0,331 $\pm$ 0,274	0,024 $\pm$ 0,016	-	92,9	-
Thiamethoxam	1,758 $\pm$ 1,722	0,030 $\pm$ 0,021	-	98,3	-
Imidacloprid	0,215 $\pm$ 0,190	0,035 $\pm$ 0,024	0,047 $\pm$ 0,027	83,8	78,0

Tabella 11. Valori di concentrazione dei p.a. nell'aria ($\mu\text{g m}^{-3} \pm \text{e.s.}$) durante le prove di semina con la macchina convenzionale e i prototipi e percentuali di riduzione dell'emissione rispetto alla macchina convenzionale.

Risultati relativi all'esposizione dell'operatore

Nella tabella 12 vengono presentati i risultati relativi alle concentrazioni di p.a. nell'aria durante le fasi di carico del seme, mentre in tabella 13, gli analoghi valori registrati dai campionatori posti in prossimità della cabina di guida durante la semina del mais. Oltre ai valori di concentrazioni di p.a. espressi in $\mu\text{g m}^{-3}$, sono mostrati i valori (in μg) potenzialmente inalabili in otto ore di lavoro teorico (senza interruzione), considerando una media di $1,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ di volume di aria inspirato.

I dati rilevati mostrano in genere un'ampia variabilità, specie durante la fase di carico della semente concia, dove si registra, perfino per lo stesso p.a. (imidacloprid), un range di variazione da un minimo di 0,66 (prova i_2 in tabella 12) fino ad un massimo di 39,25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (prova i_1 in tabella 12). Questa variabilità può dipendere verosimilmente da picchi di contaminazione che possono avvenire durante il campionamento a causa del grosso quantitativo di polvere dispersa e

manipolata dall'operatore durante le fasi di carico (in un tempo di campionamento relativamente breve).

Principio attivo	Portata campionatore	Tempo campionamento	Volum e aria	Concentrazione	Quantità inalabile in 8 h
	L min ⁻¹	min	L	µg m ⁻³	µg
i ₁	4,4	10	40	39,25	376,8
i ₂	4,4	11	44	0,66	6,3
t	4,3	2	8,6	22,09	212,1

Tabella 12. Valori di concentrazione nell'aria (µg m⁻³) di p.a. durante l'operazione di carico della semente concia e quantità potenzialmente inalabile dall'operatore in 8 ore di lavoro (µg). (c=clothianidin; i=imidacloprid; t=thiamethoxam)

Anche durante la semina la variazione dei valori è piuttosto ampia, ma con una differenza minore tra valori massimi e minimi (da un minimo di 0,11 a 10,72 µg m⁻³). Tale differenza nel range dei valori è poi ancora minore durante l'utilizzo della seminatrice modificata messa a punto dal CRA-ING (tabella 13).

Con l'impiego della seminatrice modificata, inoltre, si osservano sostanziali riduzioni della polvere emessa in atmosfera in tre prove su quattro. Infatti nelle prove con imidacloprid, thiamethoxam e fipronil, la riduzione percentuale media delle emissioni è circa il 93% (circa 94% per fipronil, 87% per imidacloprid e 99% per thiamethoxam). Inaspettatamente, invece, nella prova di confronto tra seminatrice convenzionale e prototipo con il clothianidin, si registra un incremento dell'emissione pari al 58,1%.

Principio attivo	Portata campionatore L min ⁻¹	Tempo campionamento min	Volum e aria L	Concentrazione µg m ⁻³	Quantità inalabile in 8 h µg
<u>Seminatrice convenzionale</u>					
c	2,3	58	132	0,23	4,0
f	2,2	60	130	1,77	17,0
i	4,4	98	438	1,21	11,6
t	2,3	80	180	10,72	102,9
<u>Seminatrice modificata</u>					
c	2,2	47	106	0,70	6,7
f	2,2	60	130	0,11	1,0
i (*)	4,3	95	413	0,15	1,45
t	2,3	78	180	0,14	1,33

Tabella 13. Valori di concentrazione nell'aria (µg m⁻³) di p.a. durante l'operazione di semina della semente concia e quantità potenzialmente inalabile dall'operatore in 8 ore di lavoro (µg). (c=clothianidin; f=fipronil; i=imidacloprid; t=thiamethoxam) (*) medie di due misure.

Scenario 2- La raccolta meccanizzata delle nocciole

L'emissione in atmosfera di grandi quantità di polveri durante la raccolta meccanica delle nocciole ed altra frutta in guscio (noci, mandorle, pistacchio, pecan) rappresenta un problema ancora non risolto dai costruttori, in conseguenza del quale gli addetti ai lavori risultano esposti al rischio di gravi patologie a carico dell'apparato respiratorio.

La raccolta meccanizzata delle nocciole si effettua con macchine raccoglitrice / raccattatrice trainate o semoventi. Entrambi i sistemi di raccolta provocano un aumento di polveri aerodisperse . Il primo contributo a questo aumento avviene nella parte anteriore della macchina, in cui i convogliatori strisciando sul terreno provocano la messa in movimento delle particelle. Altro contributo in polveri si ha allo scarico, nella parte posteriore.

L'emissione in atmosfera di grandi quantità di polveri rappresenta un problema ancora non risolto da costruttori, in conseguenza del quale gli addetti ai lavori risultano esposti al rischio di gravi patologie a carico dell'apparato respiratorio. Le prove sono state realizzate utilizzando macchine raccattatrice (raccolta da terra mediante azione meccanica), macchine aspiratrice (raccolta mediante azione pneumatica) e macchine aspiratrice dotate di un nuovo dispositivo progettato per favorire l'abbattimento delle polveri in uscita. Il dispositivo sfrutta l'azione di un micro getto d'acqua che, nebulizzata all'interno del condotto di uscita delle polveri, entra in contatto con il particolato solido e ne induce la sedimentazione. L'efficacia del sistema di abbattimento è stata valutata campionando sia le polveri immesse nell'ambiente (campionamento ambientale) che le polveri che giungono all'addetto alla guida della macchina (campionamento personale). Sui campioni di polvere così raccolti è stata valutata la concentrazione di massa e la composizione chimica delle specie inorganiche (elementi, analizzati per fluorescenza di raggi X, e ioni, analizzati per cromatografia ionica). I risultati hanno messo in evidenza che la concentrazione di polveri decresce sensibilmente passando dalla macchina aspiratrice di serie, alla macchina raccattatrice, alla macchina aspiratrice dotata del dispositivo di abbattimento. Le analisi di composizione chimica del particolato raccolto hanno messo in evidenza la

presenza di elementi terrigeni (circa il 15%) e di modeste quantità di specie ioniche. La frazione rimanente (80-85%) è da attribuire a specie organiche.

Il sistema di abbattimento delle polveri è stato messo a punto partendo da un loro preventivo bagnaggio in fase di raccolta ed in fase di scarico. Questo trattamento renderebbe le particelle più pesanti e, dunque, meno disperdibili. Risultati positivi riguardo al sistema di abbattimento, garantirebbero dunque un ambiente di lavoro più sano ed esporrebbero ad una quantità minore di aerodispersi i conducenti delle macchine.

Riguardo a questo progetto ho collaborato alle prove in campo ed alla messa a punto del dispositivo per la riduzione delle polveri. Anche in questo caso ho operato campionamenti ambientali e personali e successiva analisi gravimetrica dei filtri e prima elaborazione dei dati (compresi quelli metereologici).



Foto 7. Polveri durante la raccolta meccanizzata delle nocciole.

Primo prototipo

Le prime prove comparative di raccolta meccanica sono state condotte in un corileto “biologico” di circa 9 anni (sesto d’impianto pari a 5 X 4 m; = 500 piante ha⁻¹), situato in provincia di Viterbo, tra i comuni di Bomarzo e Graffignano.

Nel nocciolo è coltivata la nocciola denominata “tonda di Giffoni” tipica varietà presente nelle aree vocate del meridione d’Italia. La presenza di impianto di subirrigazione ha favorito lo sviluppo del “pratino” che influenza notevolmente l’asportazione di suolo e la successiva polverizzazione dello stesso in atmosfera.

Per effettuare la raccolta meccanica, sono state utilizzate due diverse macchine raccoglitrici semoventi: una “raccattrice” modello “SEMEK 900 ”ed una “aspiratrice” modello CIMINA 300 S.

Per la prima volta nella macchina pneumatica (dotata di cicloni per l’abbattimento polveri) è stato installato dal costruttore un dispositivo elettro-idraulico per migliorare l’abbattimento delle particolato emesso in fase di raccolta.

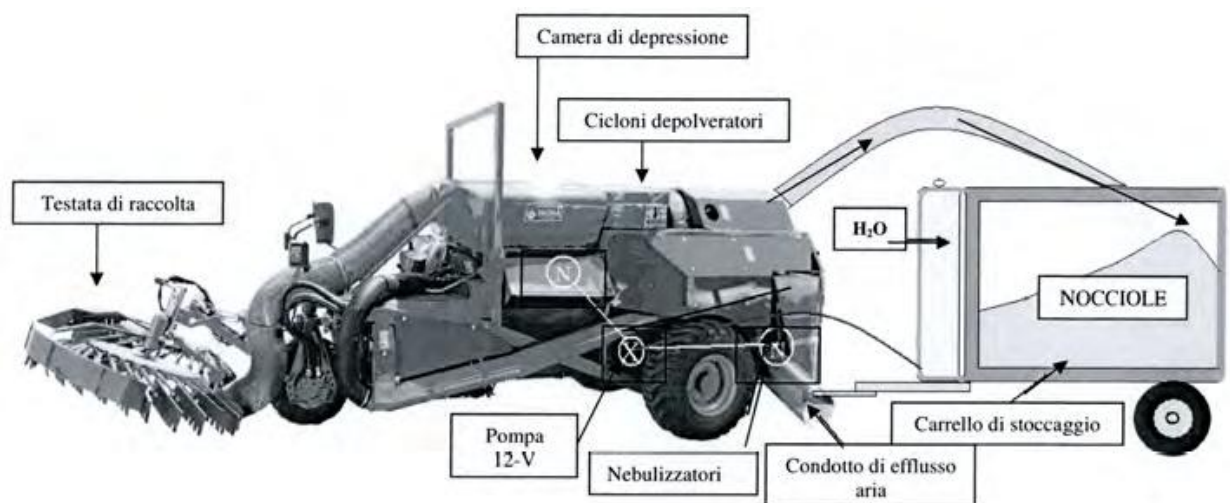


Figura 3. Lo schema del primo prototipo della macchina.

Il sistema (Figura 3) consiste nel trasferire un determinato quantitativo di acqua, all’interno del principale condotto di uscita d’aria proveniente dalla camera di depressione della macchina.

L’acqua contenuta all’interno di un serbatoio della capacità di circa 290 litri (posto nel carrello di stoccaggio trainato dalla macchina), viene prelevata e spinta

da una pompa elettrica (a 12 Volt) con portata di circa $12,5 \text{ L min}^{-1}$ a 2,40 bar. Il liquido iniettato e nebulizzato nel suddetto condotto di efflusso, forma un aerosol che miscelandosi al particolato, sia fine che grossolano, va a formare un “fango” che verrà espulso ricadendo sul terreno, limitando l’innalzamento delle polveri in atmosfera.

Durante lo svolgimento delle operazioni di raccolta è stato effettuato il campionamento delle polveri emesse in atmosfera secondo due modalità: in aria ambiente, alla distanza di circa 30 m dalla macchina operatrice e direttamente sull’operatore (campionamenti personali). Sono stati inoltre rilevati: temperatura, umidità relativa, velocità e direzione di provenienza del vento.



Foto 8. Un momento della raccolta, con un campionario per il campionamento dell’aria ambiente.

I campionatori per il monitoraggio ambientale hanno operato alla portata di 15 L min^{-1} , per il campionamento personale è stato utilizzato un campionario SKC (indossato dall’operatore posto alla guida della macchina) dotato di ciclone Dorr-Oliver che consente il campionamento della frazione PM_{10} , operante alla portata di circa 2 L min^{-1} . Per i campionamenti di PM sono state utilizzate membrane filtranti in teflon. E’ stata quindi determinata la concentrazione di massa (per via gravimetrica) condizionando le membrane per 48 h a temperatura di $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ed

umidità relativa di $50 \pm 5\%$ e, grazie alla collaborazione del CNR, la composizione chimica inorganica (ioni ed elementi).

L'analisi degli elementi (Al, As, Br, Ca, Cd, Cl, Cr, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, S, Si, Sr, Ti, V, Zn) è stata condotta mediante fluorescenza di raggi X a dispersione di energia (ED-XRF), tecnica non distruttiva, impiegando strumentazione Spectro, mod. X-Lab 2000 tarata utilizzando membrane filtranti in teflon e campioni di materiale particellare atmosferico.

Sulle stesse membrane è stata quindi determinata la composizione ionica (cloruro, nitrato, solfato, sodio, ammonio, potassio, calcio, magnesio) mediante estrazione in acqua deionizzata ultrapura sotto erogazione omogenea di ultrasuoni e successiva analisi in cromatografia ionica utilizzando strumentazione Dionex, mod. DX - 100.

Per valutare l'effettiva capacità di abbattimento delle polveri da parte del nuovo dispositivo sono state effettuate prove comparative, effettuando la raccolta con la macchina semovente di tipo meccanico (raccattatrice), quindi con la macchina aspiratrice (pneumatica) con dispositivo di abbattimento prima inattivo e poi attivo. I risultati sono stati incoraggianti.

Macchina (mod.)	Dispositivo abbattimento (ad acqua)	Posizione campionatore	Concentrazione media polveri (mg/m ³)
Semek 900	Assente	Ambientale	7,5
300s	Non attivo	Ambientale	13,9
300s	Attivo	Ambientale	3,7
Semek 900	Assente	Personale	38,6
300s	Non attivo	Personale	42,8
300s	Attivo	Personale	15,5

Tabella 14. I risultati in ambiente e sull'operatore ottenuti con le diverse macchine e con e senza il dispositivo di abbattimento.

Sia i dati rilevati in aria ambiente che quelli riferiti al campionamento personale mostrano che si ottiene una sensibile diminuzione della concentrazione di massa del materiale particellare quando viene posto in opera il sistema di abbattimento.

I risultati dei campionamenti personali fanno osservare che attivando il dispositivo la concentrazione di polvere a cui l'operatore è esposto viene ridotta a circa 1/3 del valore che si rileva disattivando il dispositivo; i dati ambientali confermano che attivando il dispositivo di abbattimento la concentrazione di polvere che si rileva alla distanza di 30 metri dalla macchina viene ridotta a circa 1/4. I risultati dell'analisi chimica del particolato non mostrano sensibili differenze nella composizione del particolato raccolto rilevato, essendo generato dalla risospensione del terreno e dei materiali vegetali frammentati durante le operazioni di raccolta. L'analisi chimica per fluorescenza di raggi X mostra la tipica composizione elementare dei terreni.

Gli elementi presenti in percentuale più consistente sono, in media, il silicio (32%), il calcio (28%), il ferro (13%), l'alluminio (10%), il potassio (6%) ed il sodio (5%). Altri elementi, che presentano anch'essi una componente crustale (zolfo, cloro, potassio, titanio, manganese, stronzio e cadmio), sono presenti in percentuali dell'ordine dell'1% (range 0,6 – 1,2 %), gli elementi di derivazione più antropogenica sono presenti in percentuali comprese fra 0,2 e 0,3% (vanadio, cromo, nichel, piombo) o sono al di sotto del limite di rilevabilità della tecnica (arsenico e zinco).

Secondo prototipo

Seppur i risultati del primo prototipo siano stati soddisfacenti, la sperimentazione è continuata con l'apporto di alcune modifiche che avrebbero potuto apportare migliorie alle macchine per la raccolta.

Per questo motivo, sulla FACMA "Cimina 300s" è stato installato un nuovo sistema concepito per il trasferimento di una certa quantità di acqua spruzzata sulla testata di raccolta e nel tubo a valle della camera di depressione (Fig. 4) .

L'acqua contenuta in un serbatoio da 300 L veniva convogliata ad alcuni ugelli montati nella parte anteriore della macchina su una barra, in tutto simile ad una barra irroratrice, attraverso lo stesso comando elettroidraulico del precedente prototipo, con una portata di 12,5 L min⁻¹ a 2,4 bar .

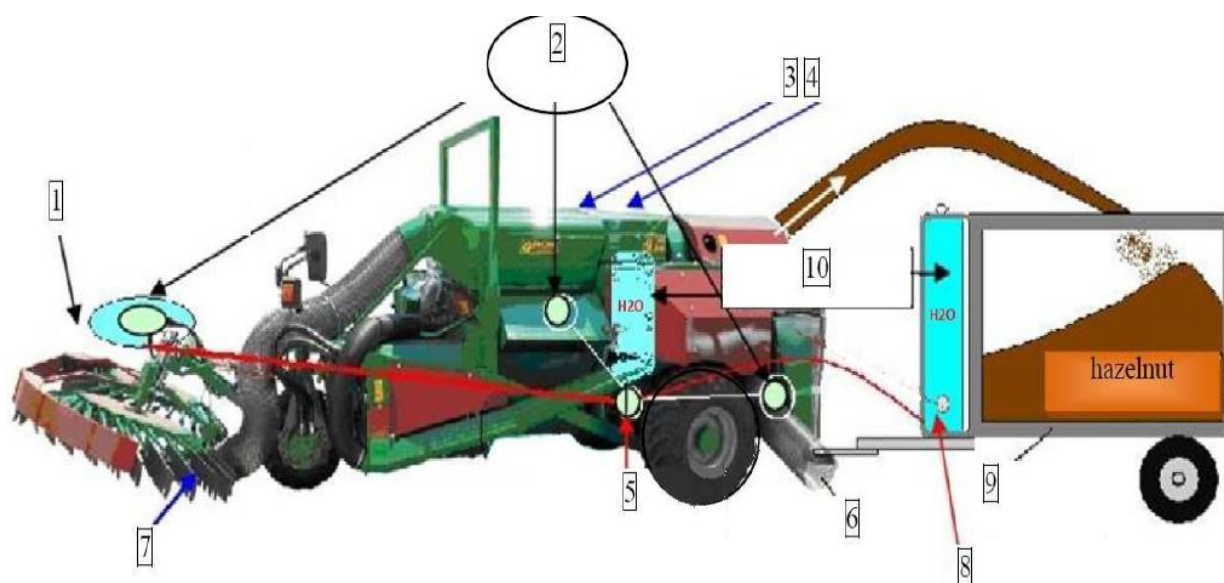


Figura 4. Schema del secondo prototipo modificato della “cimina 300s”: 1 testa di raccolta, 2 punti di nebulizzazione dell’acqua, 3 camera di depressione, 4 ciclone per abbattimento delle polveri, 5 pompa, 6 condotto di uscita dell’aria, 7 bocca di aspirazione, 8 rubinetto di uscita, 9 rimorchio/stoccaggio, 10 serbatoio acqua.

L' aerosol prodotto dagli ugelli veniva così indirizzato sul terreno creando una sorta di leggera fanghiglia, prima che potesse essere realizzata la raccolta da parte della spazzole della macchina stessa, senza innalzamento di polveri durante il lavoro .



Foto 9. La barra irroratrice posta al di sopra delle spazzole



Foto 10. L'ugello per l'abbattimento all'interno del tubo di scarico



Foto 11. Ugello all'interno del condotto di aspirazione

Durante le prove , al fine di ridurre l'interferenza nel campionamento e di minimizzare la risospensione polvere, il tubo a valle della camera a vuoto che convoglia l'aria in uscita verso l'esterno della macchina, è stato predisposto per dirigere il flusso d' aria forzata verso l'alto .

Durante le normali operazioni di raccolta, però, questo flusso d'aria è diretto verso il suolo per sfruttare la sua capacità di spostare le nocchie sotto chioma non raggiungibili dalle spazzole di raccolta, nell'interfila adiacente, per poter essere, dunque, raccolte nel passaggio successivo.

Anche in questo caso le prove sono state realizzate con le tesi dispositivo acceso / dispositivo spento, per valutare le reali prestazioni del dispositivo di abbattimento, facendo percorrere alla macchina la stessa distanza di lavoro.

I campionamenti sono stati effettuati nel centro del campo (due campionatori ambientali), a bordo campo (un campionatore ambientale) e sulla macchina raccogliatrice, sistemando un campionatore personale sul roll-bar della macchina stessa vicinissimo all'operatore.

In questa prova, grazie alla presenza di alcuni colleghi dell'istituto di inquinamento atmosferico del CNR abbiamo usato campionatori ambientali Tecora

“Skypost” operanti alla portata di 38 L min⁻¹ con filtri di 47 mm di diametro e campionatori SKC “Leland Legacy” operanti alla portata 10 L min⁻¹ con filtri di 37 mm di diametro per l'unità di campionamento sulla macchina.

La durata di ogni campionamento è stata di 30 minuti circa.

Sono stati utilizzati filtri in teflon e in quarzo ed inoltre è stata misurata la concentrazione del particolato utilizzando un contatore ottico operante nel range di dimensioni 0,3-10 micron (Grimm - Tecora mod 1.108).

Il contatore è stato impostato in modo da ottenere la concentrazione delle particelle nelle gamme seguenti: 0.3-0.5 micron , 0.5-1.0 micron , 1.0-1.5 micron , 1,5-3,0 micron , 3.0-5.0 micron , 5,0-10 micron.

Dopo il campionamento, sui filtri in TEFLON , la massa di polveri è stata determinata con metodo gravimetrico, dopo 48 ore di condizionamento a 20 ± 1 ° C e 50 ± 5 % di umidità relativa .

Grazie sempre alla collaborazione con i colleghi del CNR –IIA, poi , il contenuto elementare della polvere raccolta (Al, Ca , Cl ,Cu, Cr , Fe , Mn , Na , Ni , Pb, S , Si, Ti , V , Zn) è stato analizzato mediante fluorescenza a raggi X , con una tecnica non distruttiva (X - LAB 2000 Spectro , Germania) .

Infine, i filtri sono stati sottoposti ad estrazione all'acqua e analizzati mediante cromatografia ionica per anioni e cationi (ICS 90 , Dionex Co. , CA, USA).

I filtri in quarzo sono stati analizzati mediante analisi termo ottica per il contenuto in carbonio organico (Sunset Laboratory , OR , USA) .

I principali risultati delle prove sono riassunti nella Tabella 15 .

		Centro	Centro	Bordo	Operatore
	Dispositivo abbattimento	PM ₁₀ (mg/m ³)	PM ₁₀ (mg/m ³)	PM ₁₀ (mg/m ³)	PM ₁₀ (mg/m ³)
Prova 1	No	1,20	0,90	0,77	8,8
Prova 2	No	2,10	1,60	1,20	7,7
Prova 3	Si	0,30	0,34	0,28	2,8
Prova 4	Si	0,14	0,22	0,33	2,1

Tabella 15. Le concentrazioni di PM₁₀ durante la raccolta con il dispositivo spento ed acceso

Durante le prime due, con la macchina raccoglitrice non modificata (prove 1 e 2) la concentrazione di PM_{10} è rimasta molto alta, e variava da 0,77-1,20 mg/m^3 a bordo campo e da 0,90-2,10 mg/m^3 nelle due posizioni al centro del campo.

Vicino all'operatore, conducente della macchina, la concentrazione era ancora più elevata, e variava da 7,7 a 8.8 mg/m^3 .

Le misurazioni in continuo effettuate mediante il contatore ottico hanno mostrato che, nelle posizioni fisse la concentrazione era molto variabile, dipendendo molto dalla posizione della macchina stessa durante il lavoro.

La concentrazione media di PM_{10} era, infatti, al di sotto di 0,1 mg/m^3 , quando la macchina era alla massima distanza dal punto di campionamento e raggiungeva concentrazioni di 10-20 mg/m^3 quando vi si avvicinava.

Essendo, invece, l'operatore sempre a contatto con la nuvola di polvere prodotta dalla macchina durante le operazioni di raccolta, il campionatore sulla macchina ha sempre registrato alti livelli di concentrazione di polveri.

Quando è stato utilizzato il dispositivo di abbattimento, al contrario, si è osservato sia per i valori in campo, che per quelli sull'operatore, una significativa riduzione della concentrazione di PM_{10} , con una riduzione media dell' 83% nel centro del campo e del 68% al bordo. Il 70 % in meno sull' operatore.

I risultati ottenuti dal contatore ottico mostrano che le polveri prodotte possono ascrivarsi principalmente alla frazione di maggiori dimensioni. Circa il 60% della massa ricadeva infatti nell'intervallo da 5 a 10 micron, e il 20% variava in quello da 3 a 5 micron.

Le analisi chimiche dei campioni raccolti durante il lavoro mostrano che la fonte prevalente di particolato è stata il terreno stesso, costituendo in media il 55% del PM_{10} .

Gli elementi principali erano il silicio (13 % della massa totale), alluminio (4,0 %), ferro (3,5 %), potassio (1,3 %) e sodio (1,0 %). Altri componenti del suolo (ad esempio: Mn, Ti) erano nella gamma tra 0,1 e 1 % della massa totale, mentre gli elementi derivanti da fonti antropiche (ad esempio: Cr, Ni, Pb, V) si trovavano ampiamente al di sotto dello 0,1 %.

La frazione rimanente era in gran parte costituita da sostanze organiche (12%), mentre il sale marino, i composti di origine antropica e le specie prodotte da reazioni secondarie in atmosfera erano trascurabili.

Le analisi chimiche su circa il 70 % di quanto misurato mediante il metodo gravimetrico , indica la presenza di una notevole quantità di acqua adsorbita o legata alle particelle di polveri.

Quando si utilizza il dispositivo di abbattimento, anche la concentrazione dei componenti del suolo diminuisce marcatamente: nel centro del campo la riduzione è stata in media di più del 90 % , passando 835 a 73 mg/m³.

Una riduzione è stata osservata anche per la componente organica (da 175 a 60 mg/m³, quindi circa il 65 %).

Quando si utilizza il dispositivo, le componenti del suolo, in media scendono al 28 % della massa raccolta.

Anche in questo caso, per ottenere il totale della massa bisogna considerare la presenza di acqua .



Foto 12. Ciclone Dorr-Oliver sull'operatore poco prima di una prova.

Modifiche al secondo prototipo

Durante le prove riguardanti il prototipo finora descritto, si era notata la formazione di fanghiglia al tubo di scarico, dovuta al mescolarsi delle polveri in uscita con l'acqua nebulizzata, prima e durante lo scarico stesso.

Davanti alle spazzole di raccolta, inoltre, pareva che l'acqua nebulizzata non raggiungesse i punti più lontani, ossia quelli corrispondenti alla circonferenza coperta dalle spazzole stesse verso l'esterno.

Si è provveduto, dunque, ad apportare due modifiche ai già presenti sistemi di abbattimento.

Nel caso del condotto di scarico, gli ugelli per l'abbattimento delle polveri si sono spostati al margine del tubo stesso verso l'esterno.

Alla barra, invece, sono state aggiunte due appendici per lato, consistenti in due ulteriori tubi flessibili, orientati verso l'esterno delle spazzole con un ugello ciascuno montato nella parte terminale, in modo da aumentare, così, la superficie raggiunta dall'acqua nebulizzata.



Foto13. Le “appendici” asimmetriche aggiunte alla barra anteriore



Foto 14. Gli ugelli posti attorno al tubo di scarico

Si è realizzata una serie di prove sullo stesso nocciolo dell'anno precedente collocando un campionatore ambientale a centro dell'appezzamento, uno al bordo, ed un personale con ciclone Dorr-Oliver sull'operatore, tutti equipaggiati con filtri in TEFLON.

L'analisi gravimetrica dei filtri ha fornito buoni risultati di abbattimento.

Il problema della fanghiglia creatasi in precedenza allo scarico, inoltre, è stato risolto.

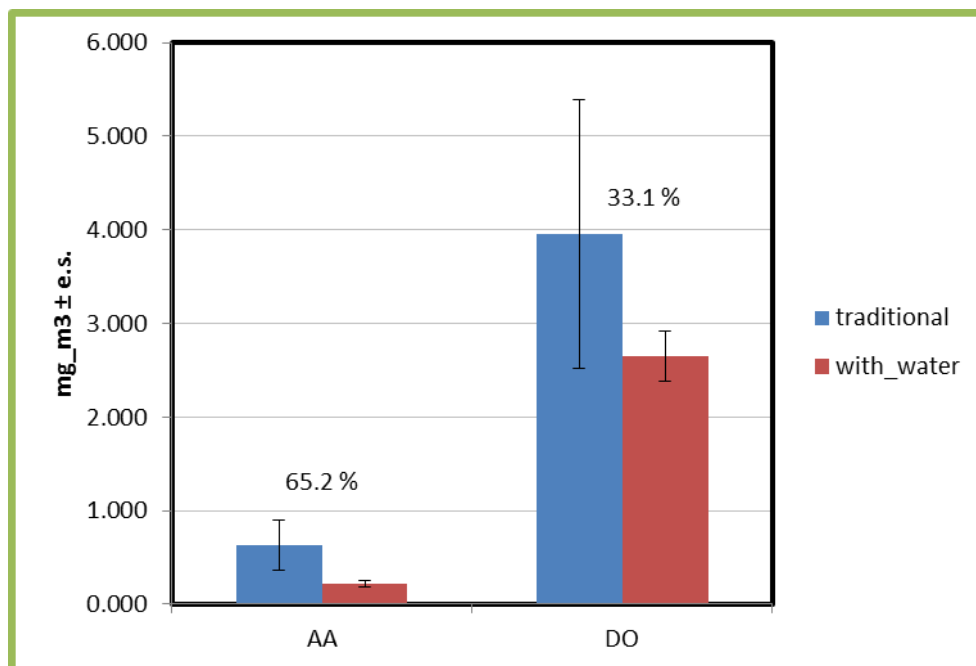


Grafico 8. Riduzione delle polveri misurata su campionatori ambientali e su personali con ciclone Dorr-Oliver.

Discussione sui risultati e conclusioni

Le prove realizzate su questi primi prototipi (macchine modificate) hanno dimostrato che è possibile abbattere una percentuale rilevante della polvere sollevatasi durante la raccolta delle nocciole, migliorando sensibilmente le condizioni di lavoro degli addetti e diminuendo il disagio delle popolazioni residenti nelle zone circostanti.

Le modifiche realizzate sulle macchine per la raccolta, inoltre, non sono affatto dispendiose e relativamente facile è la loro realizzazione.

L'uso dell'acqua, inoltre, come mezzo fisico di abbattimento, costituisce una soluzione insieme semplice, efficace e per niente impattante in termini di ricadute sull'ecosistema.

Molto si può ancora in termini di analisi delle condizioni ambientali e miglioramenti alle modifiche presenti.

Studiare una migliore nebulizzazione delle gocce grazie a differenti ugelli o diverse pompe per la movimentazione dell'acqua, sono solo un esempio degli

ulteriori passi che si possono compiere. Le prove effettuate, infatti, seppur esploranti i complessi scenari presentatisi durante la raccolta delle nocciole, utilizzando campionamenti sinergici volti ad esplorare il fenomeno sotto molteplici aspetti, non possono ricoprire l'estrema variabilità delle condizioni di campo.

L'umidità del terreno, il tipo di suolo, le lavorazioni, i trattamenti, l'inerbimento, le diverse tecniche colturali, la direzione e la velocità del vento, per quanto minuziosamente controllati e descritti, restano sempre parametri variabili da sottoporre a continua analisi da parte della ricerca scientifica.

Per quello che riguarda gli operatori sarebbe molto interessante approfondire gli aspetti riguardanti le eventuali malattie professionali derivanti dall'esposizione a questi tipi di poveri, prevedendo nella ricerca la presenza dei medici del lavoro, esperti in questo ambito, realizzando analisi *ad hoc* mirate al riconoscimento di infermità correlate al particolato. I primi passi, in questa direzione, si stanno compiendo.

Dal punto di vista della nocività, indagini più approfondite dovranno valutare l'eventuale presenza di silice libera cristallina (SLC), di microinquinanti organici derivanti da fitofarmaci e di altre specie chimiche utilizzate nelle pratiche agricole.

La formazione degli operatori stessi e dei datori di lavoro gioca un ruolo importante nel contribuire a ridurre l'impatto delle malattie professionali anche in questo caso.

La prevenzione risulta di importanza fondamentale nella difesa: nel nostro caso è bene indossare i dispositivi di protezione individuale, come gli occhiali e le mascherine antipolvere (del tipo FFP2 o FFP3, cioè facciale filtrante con protezione di grado 2 o 3).

Indirizzando la ricerca alla salvaguardia dell'uomo "nel e del" suo ambiente di lavoro sicuramente si ridurrà al minimo l'impatto delle minacce indesiderate, migliorando notevolmente la qualità della vita dei lavoratori ed, indirettamente, dell'intero ecosistema.

Scenario 3 – Abbattimento, cippatura e stoccaggio in un impianto di pioppo (*Populus×canadensis* Mönch- Neva) (un’analisi degli aerodispersi).

La domanda di fonti energetiche rinnovabili, come la biomassa , è costante aumento in tutto il mondo a causa di recenti politiche volte a riduzione dei consumi di combustibile fossile (Noll e Jirjis , 2012) .

La direttiva 2009/28/CE si pone l’ambizioso obiettivo di portare la quota di energia da fonti rinnovabili al 20% entro il 2020.

In questo contesto , l’identificazione di nuovi fonti energetiche rinnovabili è considerata una priorità. Specie a rapida crescita come i pini e i pioppi, sono da preferire per la produzione di energia termica da biomasse e/o produzione di energia elettrica (Abbasi e Abbasi , 2010) .

L’uso di colture energetiche di specie legnose e forestali e residui agricoli per la fornitura di energia è stimato tra 2 e 10 % della produzione primaria netta globale (Smeets et al , 2007;IEA , 2012) .

I pioppeti italiani coprono circa 120.000 ettari e rappresentano l’ 1,3% della superficie forestale nazionale. Anche se coprono una superficie relativamente piccola, le colture di pioppo svolgono un ruolo importante nell’approvvigionamento di materie prime nazionali per le industrie del legno.

Grazie alla loro intensa attività fotosintetica, queste piantagioni svolgono anche un ruolo importante nel sequestro di CO₂, da cui il contributo alla mitigazione dei cambiamenti climatici. L’importanza strategica del pioppo per la fornitura di legno industriale è riconosciuta in molti altri paesi, come la Cina, Francia, India e Turchia dove si producono più di 1 milione di m³ di legno di pioppo all’anno da piantagioni specializzate.

Il legno di pioppo ha molti usi potenziali e il più lungo ciclo di rotazione è relativamente breve rispetto a quello della maggior parte delle altre essenze arboree. Ciò favorisce l’ integrazione di questi impianti anche in aziende a vocazione strettamente agricola. Gestiti con rotazioni di 5/30 anni, i cloni di pioppo selezionati possono essere utilizzati per produrre i più diversificati

assortimenti : impiallaccature, tavole, sfogliati, cassette e pasta di legno in generale.

Al contrario , le caratteristiche fisiche della ramaglia la rendono poco adatta all'uso industriale. In molti casi, rami e cimali rappresentano un rifiuto, per cui il loro smaltimento comporta costi aggiuntivi. Diverse ricerche hanno dimostrato che il legno derivante da questi scarti di lavorazione, può rappresentare fino al 40% del biomassa totale proveniente da un impianto.

Lo smaltimento di tale quantità di legno potrebbe essere costoso e richiede tempo, a meno di non identificarne impieghi redditizi come, appunto, la sminuzzatura e l'uso del materiale come fonte energetica.

A questo proposito, la crescente domanda di energia rinnovabile in tutta Europa può offrire nuove prospettive a questo prodotto.

Tuttavia, a seconda della posizione geografica e della stagionalità dei lavori forestali, il legno disponibile non sempre soddisfa la domanda per la produzione di energia e ci possono essere periodi dell'anno in cui tale domanda non può essere evasa direttamente (Noll et al., 2010; Noll e Jirjis , 2012), se non ricorrendo a grandi quantità di biomasse stoccate. A sua volta , lo stoccaggio del legno rappresenta una problematica di non poco conto.

Il prodotto può essere stoccato come pianta intera priva di rami o come sminuzzato. Il costo del trasporto e movimentazione del primo è maggiore rispetto a quello del secondo. L'esposizione alla degradazione, di contro, è maggiore nel caso del legno sminuzzato.

In impianti di riscaldamento, i cumuli di legno sminuzzato (lavorato meccanicamente per ridurre le dimensioni delle particelle) si realizzano generalmente all'aperto. Pertanto il deposito di chips all'esterno, su piazzali di grande estensione (che significa migliaia di tonnellate di materiale) sta diventando una seria problematica.

Purtroppo, i trucioli di legno sono estremamente vulnerabili a causa della degradazione microbica subita durante la conservazione, che porta spesso a elevate perdite di materia secca, riduzione del valore energetico, rischio di

autocombustione e, non ultimo, il potenziale rischio per la salute umana a causa dell'esposizione a microspore sospese nell'aria.

Durante il tempo di esposizione agli agenti atmosferici e nei piazzali di stoccaggio, si verifica una degradazione del legno, che coinvolge un ampio spettro di specie fungine che hanno anche funzioni tra loro complementari (Noll e Jirjis , 2012 ; Suchomel et al., 2012).

Lo spostamento di grandi quantità di materiali di legno, inoltre, porta al rilascio nell'aria di un'elevata concentrazione di spore che possono poi essere inalate e ingerite dai lavoratori e depositarsi sulla pelle (Grisoli et al. , 2009). Le spore di muffe nell'aria hanno diametri che vanno da 2 a 10 micron e possono, quindi, facilmente penetrare nelle vie aeree inferiori della tratto respiratorio umano (O'Gorman, 2011), provocando gravi malattie, tra cui alcune infezioni polmonari invasive, o contribuendo alla sinusite allergica e altre malattie bronco - polmonari (Cornet et al., 2002) .

Le attuali misure di conservazione sono a volte costose e i vantaggi ottenuti non sempre giustificano le spese.

Presso il CRA-ING è stata realizzata una sperimentazione volta ad esaminare la presenza di microorganismi fungini nei cumuli di stoccaggio e durante la movimentazione degli stessi.

In una piantagione di pioppo di circa 10 ha, sita presso l'azienda sperimentale dell'istituto, è stata dunque abbattuto, il materiale cippato, dividendo cimali e ramaglia dal fusto e il prodotto stoccato in cumuli.

Ho potuto seguire tutto il lavoro, realizzando campionamenti di aria durante le diverse fasi della lavorazione tra cui l'abbattimento delle piante, la cippatura, e la movimentazione del prodotto nei cumuli.

La terza sperimentazione nello studio degli aerodispersi, dunque, non risponde in toto ad un vero e proprio progetto di ricerca in senso stretto, ma

soprattutto ad una analisi realizzata parallelamente a ciò che un progetto, svolto presso il CRA-ING, prevedeva.

La sperimentazione presso il CRA, infatti, richiedeva la mia collaborazione all'analisi degli aerodispersi durante la movimentazione dei cumuli di cippato.

Il DABAC dell'Università degli studi della Tuscia avrebbe dovuto campionare su filtri eventuali presenze microbiologiche per seguire lo sviluppo in coltura delle medesime e per questo abbisognava di poter organizzare un campionamento su filtri in esteri di cellulosa che avrebbero fatto da substrato allo sviluppo di quelle colture.

D'accordo con i responsabili del progetto, dunque, ho pensato di seguirne tutte le fasi con campionamenti attivi e successiva analisi gravimetrica dei filtri, non limitandomi solo a quelli riguardanti la movimentazione dei cumuli per l'analisi delle spore.

Questa parte del lavoro, dunque, non prevede come le altre, lo studio di eventuali metodi di contenimento delle polveri, ma, vuole offrire un contributo alla ricerca ed aggiungere conoscenze alla determinazione del particolato aerodisperso da polveri di legno, prodotto durante questo tipo di lavorazioni e offrire uno spunto per applicare eventuali tecniche di riduzione del particolato.



Foto 15. Il pioppeto utilizzato per la sperimentazione

Abbattimento

In un appezzamento di terreno di circa 8 ha contiguo alla struttura del CRA-ING si è lavorato all'abbattimento (taglio raso) di un pioppeto di 18 anni di età per la produzione di biomassa.

La scelta di un popolamento in età avanzata ha permesso di simulare le condizioni di lavoro (tempi, tecnologie ecc..) in impianti da legno dedicati alla produzione di biomassa non SRF (Short Rotation Forestry) e valutare una eventuale convenienza riguardo alla maggiore quantità di biomassa prodotta per unità di superficie di terreno rispetto alle negatività connesse alla qualità del legno da individui in età avanzata.

Esaminare, cioè, il rapporto tra la minore dispendiosità delle operazioni e la qualità della biomassa prodotta.

Dell'abbattimento si occupava una sola persona, che eseguiva questa operazione quasi di continuo. Dopo aver abbattuto un certo numero di piante, eseguiva la sramatura e depezzava le stesse in due parti dividendo i cimali dai topi basali, realizzando, dunque, una vera e propria assortimentazione del materiale legnoso.

Il lavoro del motoseghista, dunque, è risultato abbastanza costante.

Utilizzava una motosega "Stihl", modello "Ms 460", con all'attivo circa 500 giornate lavorative, con le seguenti caratteristiche.

Potenza kW/HP	4,4/6,0
Cilindrata cm ³	76,5
Peso kg	6,6

Le fasi del lavoro consistevano nell'abbattimento realizzato mediante le fasi convenzionali per cui si realizza prima la tacca di direzione e il successivo taglio di abbattimento della pianta.

L'operatore, nella ripetitività delle operazioni, ha apportato delle variazioni al lavoro che consistevano, per esempio, in realizzare le tacche di direzione su una intera fila e poi quelle d'abbattimento della medesima.

Altra variazione al lavoro consisteva in realizzare la tacca di direzione alla pianta precedente, e poi abbattere la pianta posta immediatamente dietro quella “intaccata” facendola cadere nella direzione di questa, in modo da realizzare, con la caduta della seconda, anche la prima.

Il cambiamento delle sequenze di lavoro ha, naturalmente, fatto variare anche i dati rilevati nel campionamento.



Foto16. L'operatore durante l'abbattimento

Sull'operatore è stato sistemato un campionatore personale per ripetizioni di 30 minuti di lavoro.

Il campionatore era equipaggiato con ciclone Dorr-Oliver e filtro in TEFLON, impostato alla portata di 1.7 L/min.

Il campionatore personale captava polvere di legno mischiata ai gas di scarico della motosega essendo posizionato sul fianco dell'operatore con il ciclone sistemato sul suo petto.

Durante le medesime operazioni a bordo campo ha lavorato un campionatore ambientale per la captazione delle polveri totali, alla portata di 15 L/min equipaggiato con filtri in quarzo di 47 mm di diametro, più idonei alla captazione delle polveri organiche di legno.

I risultati dei campionamenti sono riportati nel grafico seguente.

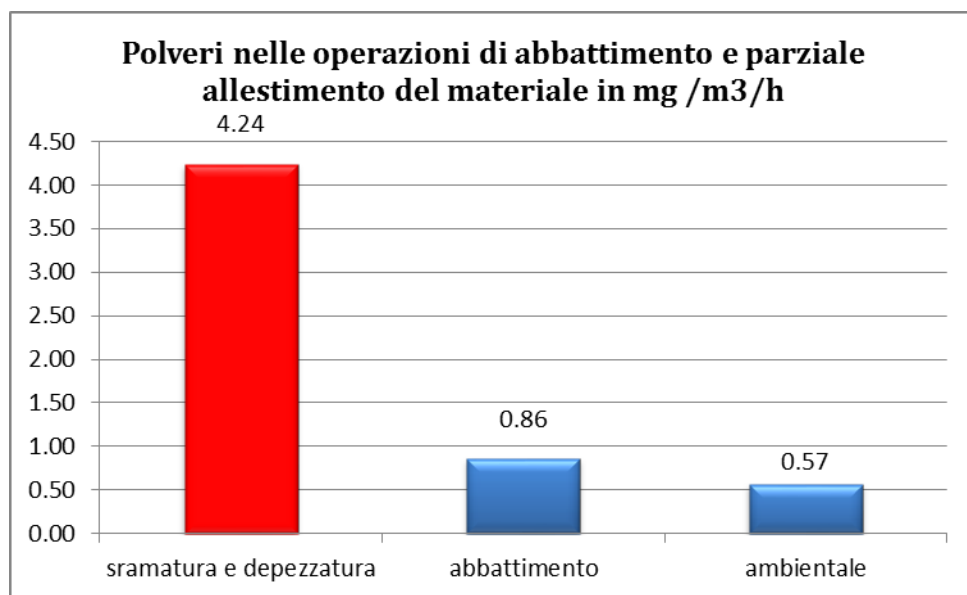


Grafico 9. Media delle polveri prodotte durante le operazioni di abbattimento e sramatura e depezzatura.

Risultati

È evidente come l'operazione più impattante dal punto di vista delle polveri prodotte risulti essere stata quella della sramatura e depezzatura.

La spiegazione potrebbe risiedere nella tipicità intrinseca alle operazioni e nella metodologia di lavoro adottata.

Mentre, come descritto in precedenza, le tacche di direzione e i tagli di abbattimento venivano realizzati, infatti, con continuità differente (ossia secondo una sequenza che poteva essere eseguita per esempio nell'ordine: tacca – taglio e pianta successiva, oppure tacca- tacca – tacca- taglio- taglio –taglio), alternando all'uso della motosega i tempi morti dello spostamento da una pianta alla successiva e l'osservazione della pendenza naturale della pianta, quella di sramare e depezzare è stata, ovviamente, operazione continua, con intervalli meno frequenti nel tempo, motosega ad un numero di giri sempre elevato, elevato numero di rami e sezionatura cimale/toppo finale, con motosega continuamente vicina all'operatore.

Come spesso succede in ambiente lavorativo, dunque, variare, quando possibile, le fasi del lavoro potrebbe essere garanzia, non solo di minore ripetitività e quindi maggiore attenzione, ma anche di diminuzione nella quantità di inquinanti a contatto con l'addetto al lavoro stesso.

Se, per esempio, lo stesso operatore avesse alternato il lavoro di motoseghista con quello del trattorista, incaricato di agganciare con il verricello forestale il materiale lavorato per portarlo sul piazzale per la cippatura, avrebbe risentito ancora meno del contatto con le polveri di legno e i gas di scarico della motosega.

Cippatura

La cippatura è stata realizzata in due momenti diversi con l'idea sperimentale di caratterizzare due tipi di cippato: uno proveniente da legno cippato da fresco e successivamente essiccato ed un altro cippato dopo una parziale essiccazione all'aperto.

Inoltre la cippatura di legno parzialmente essiccato è avvenuta anche provando una diversa cippatrice oltre a quella usata precedentemente.

Le operazioni, dunque si sono susseguite con una cippatura nei giorni seguenti l'abbattimento ed una successiva dopo un anno e tre mesi, (fine marzo 2012-fine giugno 2013).

La cippatura è avvenuta con cippatrice Gandini modello "30/60" azionata dalla presa di potenza del trattore.



Foto 17. Un momento della cippatura.

Cippatura del legno fresco

Per i lavori riguardanti il mese di marzo (legno fresco), i monitor ambientali per il campionamento delle polveri sono stati sistemati a 5 e 10 metri dalla cippatrice con bocca di captazione parallela alla direzione del vento dominante.

I campionatori erano equipaggiati con filtri in quarzo da 47mm.

Sono stati realizzati campionamenti riguardanti sia la cippatura dei cimali che quella dei topi basali.

L'umidità relativa degli assortimenti prima della cippatura era :

<i>Umidità relativa dei topi basali</i>	<i>Umidità relativa dei cimali</i>
52%	49%

I risultati delle polveri prodotte sono riportati nel grafico seguente.

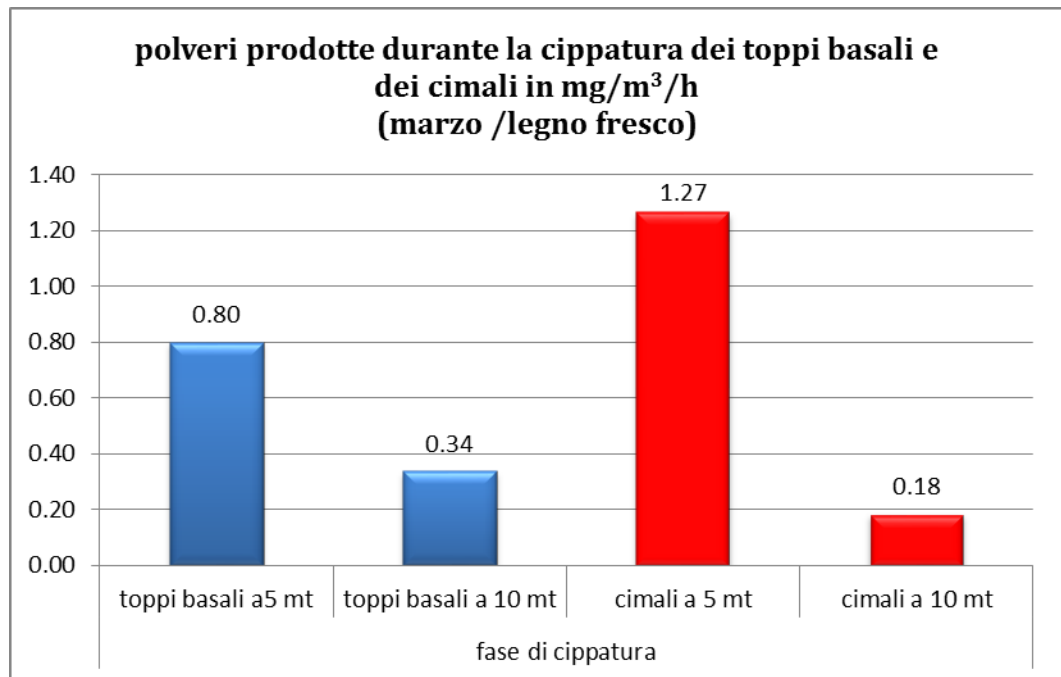


Grafico 10. Media delle polveri prodotte durante la cippatura dei due diversi assortimenti (media di due misure).

A distanza minore, la cippatura dei cimali ha prodotto una quantità di polvere maggiore di quanto prodotto dai topi basali.

A distanza di 10 metri è successo il contrario.

Questo risultato potrebbe dipendere dalla dimensione minore delle particelle di polveri derivanti dalla lavorazione dei cimali stessi.

Producendo, infatti, granuli di dimensioni maggiori, i topi basali hanno impregnato i filtri a breve distanza con una quantità di polveri che non è decaduta del tutto con l'aumentare della distanza.

La cippatura dei cimali ha prodotto polveri più fini che a 5 metri hanno contaminato come una massa più compatta di particelle fini le membrane, ma non sono riuscite a raggiungere con la stessa compattezza il campionatore più distante perché disperse dal vento.

Cippatura del legno parzialmente essiccato

Nel mese di giugno del 2013 si è realizzata la cippatura del materiale rimasto in uno spiazzo dell'istituto. Il materiale presentava alcuni segnali di marcescenza. Inoltre, nei giorni immediatamente precedenti la prova, aveva piovuto.

L'umidità relativa degli assortimenti prima della cippatura era :

<i>Umidità relativa dei topi basali</i>	<i>Umidità relativa dei cimili</i>
49%	42%

Con la stessa cippatrice e lo stesso tipo di filtri e campionatori settati alla stessa portata si sono operati solo campionamenti a 5 metri dalla cippatrice, aggiungendo una tesi sperimentale riguardante la macchina, ed una "di confronto" consistente nel sistemare i campionatori sotto vento rispetto alla direzione del vento dominante misurata dalla centralina meteo dell'istituto dalle prime ore del mattino.

La modifica apportata alla macchina per alcune ripetizioni nell'operazione è stata quella di sostituire i coltelli usurati con coltelli nuovi sull'organo di taglio.

I risultati delle prove sono riportati nel seguente grafico:

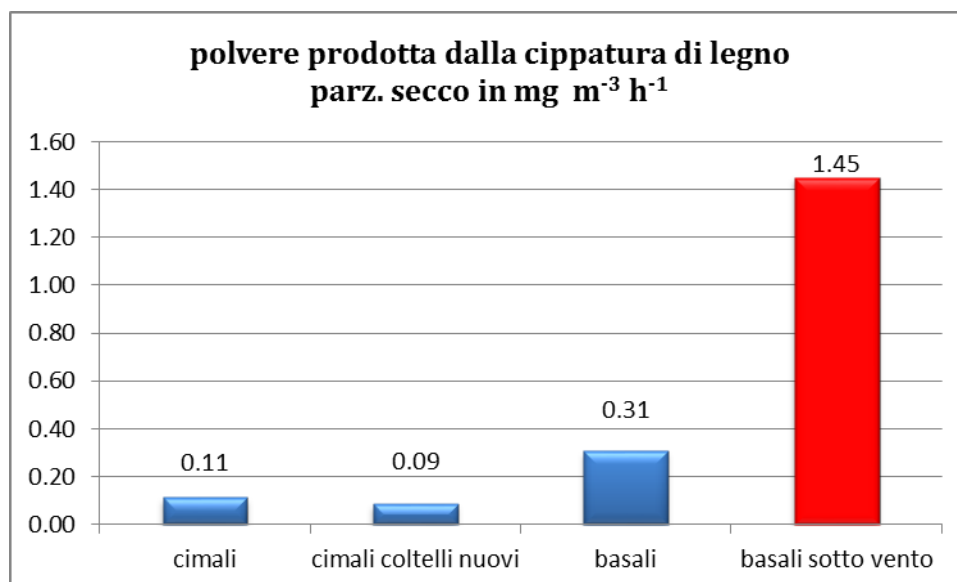


Grafico 11. Media delle polveri prodotte durante la cippatura dei due diversi assortimenti (media di due misure).

Sono state, inoltre, effettuate prove di cippatura con un'altra macchina, una cippatrice Pezzolato modello "PTH 700/660".

Sono stati, dunque, sistemati dei campionatori, settati ed equipaggiati come i precedenti per avere un confronto di polveri prodotte utilizzando un "cantiere differente".

Lavorando inoltre, l'operatore ai comandi della cippatrice, con trattore privo di portiera, si sono esaminate anche le polveri che lo raggiungevano, equipaggiando il medesimo con campionatore personale, ciclone Dorr-Oliver e filtri da 37mm in TEFLON.

Questi i risultati:

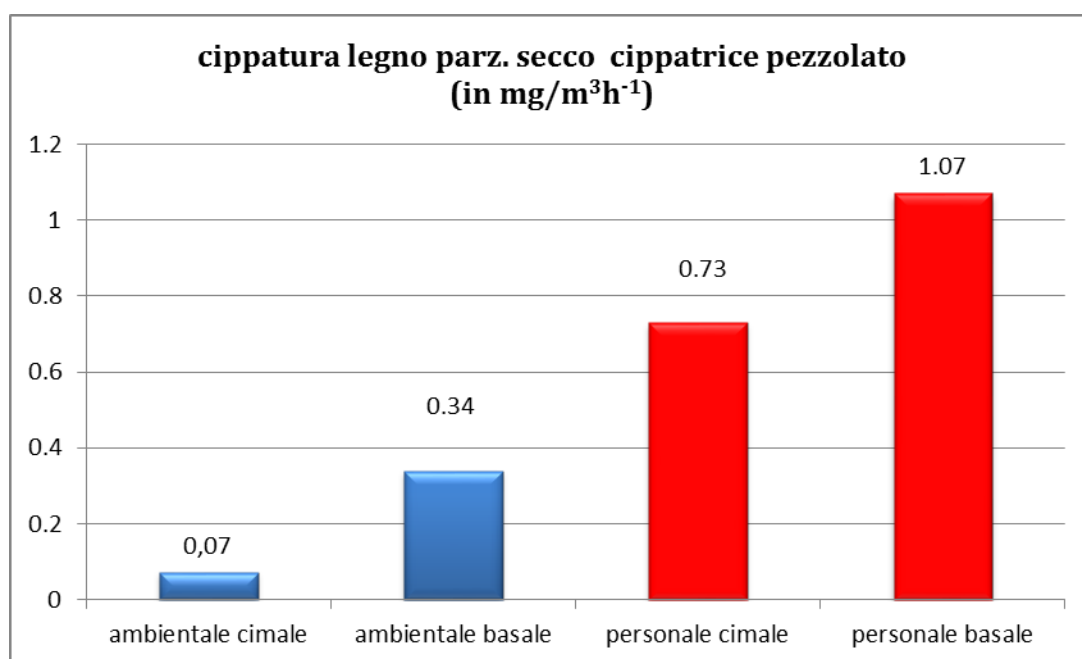


Grafico 12. Media delle polveri prodotte durante la cippatura dei due diversi assortimenti con cippatrice "Pezzolato" (media di due misure).

È interessante notare che i campionatori di "confronto" messi sotto vento hanno rilevato una quantità di polveri molto alta ($1,45 \text{ mg/m}^3 \text{ h}^{-1}$) e che sostituendo i coltelli usurati con coltelli nuovi la produzione di polveri ha subito una leggerissima variazione verso il basso ($0,11$ vs. $0,09 \text{ mg/m}^3 \text{ h}^{-1}$).

Nella tabella seguente sono riassunti i risultati confrontabili delle sperimentazioni. I dati meteo derivano dalla media dei dati rilevati durante i tempi di campionamento.

	7 Marzo 2012 Cipp. Gandini	6 Giugno 2013 Cipp. Gandini	6 Giugno 2013 Cipp. Pezzolato
T° atmosferica (C°)	17,3	26	26
u.r.(%)	39,5	55,5	55,5
Vel. vento (m/s)	1,0	0,7	0,7
U.R. cimati (%)	49	42	42
U.R. topi (%)	52	49	49
Cimati Ambiente 5 m (mg/m ³ h ⁻¹)	1,27	0,11	0,07
Basali Ambiente 5 m (mg/m ³ h ⁻¹)	0,80	0,31	0,34
Cimati Ambiente 10 m (mg/m ³ h ⁻¹)	0,18	-	-
Basali Ambiente 10 m (mg/m ³ h ⁻¹)	0,34	-	-
Cimati operatore (mg/m ³ h ⁻¹)	-	-	0,73
Basali operatore (mg/m ³ h ⁻¹)	-	-	1,07

Tabella 16. Riassunto dei dati della sperimentazione nelle diverse date.

Discussione dei risultati delle operazioni di cippatura

Nel mese di giugno del 2013, dopo oltre un anno di esposizione agli agenti atmosferici, i risultati hanno fornito dati differenti da quelli dell'anno precedente, come prevedibile, ma con divari per i quali si possono solo avanzare delle ipotesi, specie nel caso della polvere prodotta dalla lavorazione dei cimati.

Per le prove riguardanti le polveri totali, generatesi durante la cippatura dei cimati, da un anno al successivo si nota un leggero abbassamento dell'umidità del legno, ma una notevole riduzione del particolato prodotto, che, passando dalla prima alla seconda cippatrice, diventa, tra l'altro, una quantità decisamente bassa.

Il valore potrebbe dipendere dall'elevata umidità atmosferica conseguente le precipitazioni di quei giorni.

I topi basali hanno dimostrato lo stesso andamento, diminuendo l'emissione di polveri con la seconda cippatura (anno successivo) e mantenendo un valore simile, anche con le due diverse cippatrici.

Il confronto tra basali e cimali, invece, mostra un'apparente inversione dei valori. Mentre, infatti, il primo anno i cimali producevano più polvere dei basali, nel secondo, seppur con valori ridotti, erano i topi a produrre più polveri.

Nel campionamento dell'operatore con campionatore personale, i valori seguono, invece, l'andamento del primo anno (cimali più polverosi).

È interessante notare che i valori della cippatura da topi nell'anno successivo a 5 metri dalla macchina operatrice siano praticamente uguali a quello del legno fresco a 10 metri.

Avanzare un'ipotesi razionale, delle due tesi, risulterebbe non corretto per mancanza di un adeguato numero di ripetizioni e quindi di un sufficiente disegno statistico.

Bisogna, inoltre, aggiungere che variazioni delle condizioni ambientali incidono non poco sulla attendibilità dei dati.

Questa sperimentazione vuol essere un primo inquadramento del problema della tematica inerente le polveri in questo tipo di lavorazioni; può essere, comunque, utile per notare che in tutto il lavoro di cippatura, non si sono mai raggiunti risultati ritenuti dannosi per la salute dell'operatore alla macchina e dell'eventuale personale coinvolto nelle immediate vicinanze del cantiere.

Movimentazione dei cumuli di cippato

Nel mese di settembre del 2013, la sperimentazione inerente la produzione di cippato ha reso necessaria una movimentazione dei cumuli precedentemente sistemati, per rendere possibile la sistemazione di sonde all'interno dei cumuli stessi.

Un operatore con gru dotata di braccio con testa a ragno, quindi, movimentava i cumuli coadiuvato da un operatore con vanga sul cumulo stesso.

I campionatori ambientali, con filtri in TEFLON da 47 mm di diametro, sono stati sistemati ad un metro dal cumulo e l'operatore sul cumulo è stato dotato di un campionatore personale con ciclone Dorr-Oliver con filtri in TEFLON da 37 mm di diametro.

In quella occasione, sono stati inoltre realizzati i campionamenti per la coltivazione di spore fungine da legno in collaborazione con Il DABAC dell'università della Tuscia (si veda elenco pubblicazioni).

I risultati nel seguente grafico:

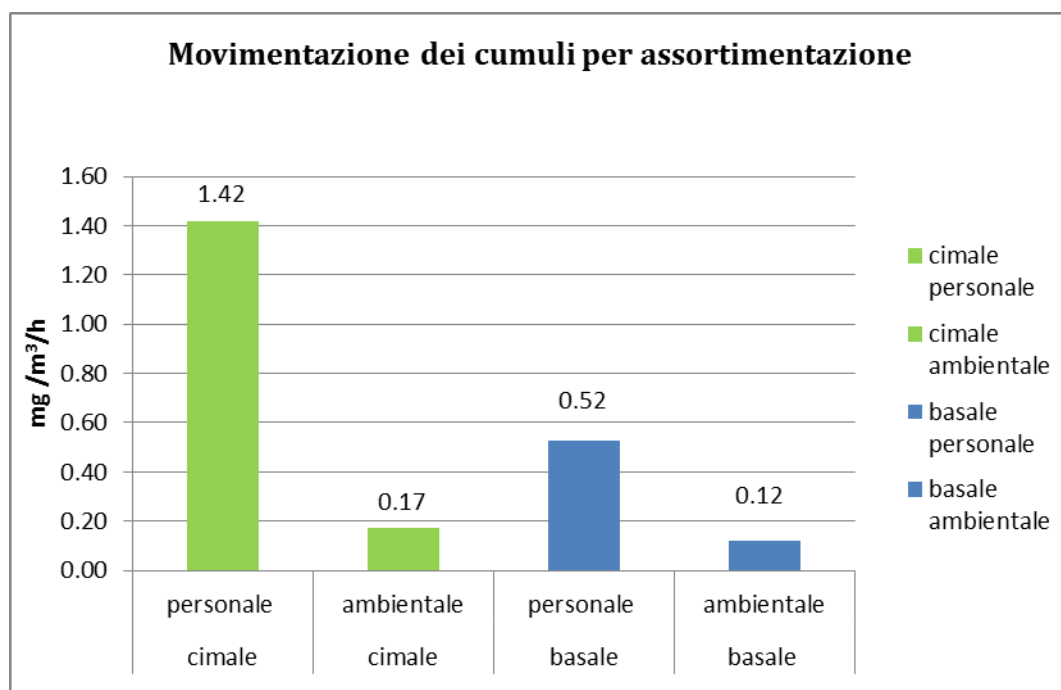


Grafico 13. Le polveri generatesi durante la movimentazione dei cumuli di cippato, in ambiente e sull'operatore.

Anche nel caso della movimentazione dei cumuli, la produzione di polveri si è mantenuta su valori relativamente bassi, tali da non destare preoccupazioni per la salute degli operatori.

La polverosità, però, è tornata ad essere maggiore nelle scaglie derivanti dai cimali rispetto a quelle derivanti dai topi basali.

Conclusioni

Le conoscenze sulle patologie dovute al legno sono molto antiche, si pensa possano risalire anche ad alcuni secoli avanti Cristo (secondo Plinio il Vecchio, l'etimo dell'aggettivo "tossico", potrebbe essere "Tassico" da *Taxus baccata*, L).

Solo alla fine del secolo scorso si sono avute le prime osservazioni sistematiche, legate ai lavori nei cantieri navali.

Tali segnalazioni si sono in seguito moltiplicate, in particolare dopo la seconda guerra mondiale, per il rilievo sempre maggiore che ha assunto l'importazione di legnami tropicali, limitandosi tuttavia, fino al periodo 1960-70, quasi esclusivamente a disturbi dermatologici legati a irritazioni o sensibilizzazioni delle parti esposte, prevalentemente le mani (Cirila e Martinotti, 2008).

Da tempo è stata dunque provata l'esistenza di una relazione causale certa tra l'esposizione professionale alle polveri di legno duro e l'insorgenza del cancro delle cavità nasali e dei seni paranasali.

Si tratta di forme tumorali di origine epiteliale, ad induzione lenta, con un periodo di latenza stimato tra i 20 e i 40 anni ed un'età di insorgenza compresa tra i 55 e i 70 anni. Dette patologie, rare in assoluto (l'1% circa di tutte le neoplasie maligne), compaiono con una certa frequenza nei lavoratori addetti al legno (falegnami, mobiliери, boscaioli, operai forestali, carpentieri in legno), rappresentando circa lo 0,2% delle neoplasie annualmente riconosciute dall'INAIL nel corso del quinquennio 2001/ 2006.

Dal 2000, con l'entrata in vigore del D.Lgs. n.66, il lavoro comportante esposizione a polveri di legno duro è stato di fatto incluso tra le lavorazioni a rischio cancerogeno per l'uomo. (INAIL, 2006)

Riflessioni finali e conclusioni

I risultati, così come le teorie che li riguardano, sono influenzati ed influenzabili da un numero elevatissimo di variabili.

Certa è l'esposizione dei lavoratori a polveri, che seppur non dannose dal punto di vista della quantità o del diametro aerodinamico, potrebbero diventarlo rispetto agli elementi di cui sono costituite o all'accumularsi nell'organismo negli anni di lavoro.

Lavorare in campo, in bosco, così come in un impianto di arboricoltura da legno o per la produzione di biomassa si arricchisce di un'altra pericolosità oltre quelle già spesso discusse e conosciute.

Questo lo spirito di questo modesto contributo: aggiungere un tassello alla conoscenza di questa emergenza trascurata quanto invisibile che è la polvere.

Resta, così, la formazione dei datori di lavoro e dei lavoratori stessi, il primo mezzo per contrastare l'insorgenza di subdole malattie professionali che sempre di più minacciano la salute di chi lavora.

Questa ricerca potrebbe continuare, arricchirsi di un numero maggiore di sperimentazioni e dati, riguardanti anche altre fasi ed altri tipi di lavorazioni.

È alla ricerca, infatti, che spetta il compito di fornire linee guida, mezzi e strumenti per ridurre o, dove possibile, eliminare qualsiasi fonte di pericolo per tutti gli operatori coinvolti nella filiera della lavorazione, trasformazione e produzione di beni per la comunità.

Elenco pubblicazioni del periodo di dottorato.

Pubblicazioni su riviste ISI

Barontini M, Crognale S, Scarfone A, **Gallo P**, Gallucci F, Petruccioli M, Pesciaroli L, Pari L, Airborne fungi in biofuel wood chip storage sites, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 90 (2014) 17e22.

Pochi D, Biocca M, Fanigliulo, **Gallo P**, Fedrizzi M, Pulcini P, Perrino C, Marcovecchio F, A device for pneumatic precision drills reducing the dispersion of the abrasion dust from dressed seed, *Environmental Science & Technology*, (sottoposto).

Pubblicazioni su atti di convegni nazionali e internazionali

Pochi D, Fanigliulo R, **Gallo P**, Biocca M, Assessment of dust drift from pneumatic drills in static tests. In: C. Belviso, S. Fiore and M.L. Giannossi (Editors) *International Conference on Atmospheric Dust, DUST 2014.*, Castellaneta Marina, Italy. Digilabs Pub., Bari, Italy, pp. 342, ISBN 978-88-7522-095-2.

Biocca M, Fanigliulo F, **Gallo P**, Pulcini P, Perrino C, Pochi D, Assessing dust drift from dressed seeds by air sampling, In proceeding of: *International Advances in Pesticide Application*, At Oxford (UK), Volume: *Aspects of Applied Biology* 2014, 122, pag. 103-112.

Perrino C, Marcovecchio F, Dalla Torre S, **Gallo P**, Biocca M, Pochi D, Valutazione di un dispositivo di abbattimento delle polveri prodotte durante la semina di mais trattato con insetticidi. Poster presentato al convegno “PM2014-Genova”. *Book of abstracts*, pag. 19.

Pochi D, Biocca M, Brannetti G, Fanigliulo R, **Gallo P**, Grilli R, Montanari S, Pulcini P Engineering solutions applied to pneumatic drills to reduce losses of dust from dressed seeds, X Conferenza Nazionale dell’Associazione Italiana di Ingegneria Agraria(AIIA), “Horizons in agricultural, forestry and biosystems engineering”, 8-12/9/2013 presso Università della Tuscia, Viterbo.

Pochi D, Biocca M, Fanigliulo R, **Gallo P**, Pulcini P, Conte E, An innovative system to reduce dust drift during sowing of dressed seeds with pneumatic drills,

(Poster) Proceedings of XIV Symposium in Pesticide Chemistry, Piacenza, Italy, 30 agosto – 1 settembre.

Fedrizzi M, Pagano M, Perrino C, Recchi P, **Gallo P**, Self-propelled prototype for harvest of hazelnut fruits (*Corylus avellana* L.): analysis of particulate matter emitted into the atmosphere, proceedings of International conference “Safety, Health and Welfare in Agriculture and in Agro-food Systems”, 2012, Ragusa (Italy).

Fedrizzi M, Pagano M, Perrino C, Cecchini M, Guerrieri M, *Gallo P*, Biocca M, Inhalable dust emission in hazelnuts mechanical harvesting (*Corylus avellana* L.): test of a low impact suction-type pneumatic collector, proceedings of International conference “Safety, Health and Welfare in Agriculture and in Agro-food Systems”, 2012, Ragusa (Italy).

Pochi D, Biocca M, Fanigliulo R, **Gallo P**, Pulcini P, Development and testing of innovative devices to reduce the drift of abrasion powder during the sowing of dressed seeds with pneumatic drills, proceedings of International Conference of Agricultural Engineering (CIGR-AGENG 2012), Valencia (Spain) 8/ 12 July

Fedrizzi M, Pagano M, Perrino C, Cecchini M, Guerrieri M, **Gallo P**, Biocca M, Inhalable dust emission in the mechanical harvesting of hazelnuts: first comparative test, proceedings of International Conference of Agricultural Engineering (CIGR-AGENG 2012), Valencia (Spain) 8/ 12 July 2012.

Biocca M, Pochi D, Fanigliulo R, **Gallo P**, Pulcini P, Aerosol generated during the sowing operations with pneumatic precision drills and operator inhalation exposure. Proceedings of CIOSTA XXXV & CIGR V Conference “From effective to intelligent farming and forestry”. 3rd -5th. July 2013, Billund, Denmark. ISBN: 978-87-92869-76-0. CD-ROM.

Pochi D, Biocca M, Fanigliulo R, **Gallo P**, Pulcini P, Workers’ exposition to aerosol during the sowing operations with pneumatic precision drills, proceedings of International conference “Safety, Health and Welfare in Agriculture and in Agro-food Systems”, 2012, Ragusa (Italy).

Pochi D, Biocca M, Fanigliulo R, Fedrizzi M, Conte E, Pulcini P, Grilli R, **Gallo P**, Imperi G, Deriva di polveri durante la semina del mais conciato e mezzi di

contenimento, Atti Giornate Fitopatologiche, 2012, 13-16 marzo, Milano Marittima (Ra).

Pagano M, Fedrizzi M, **Gallo P**, Perrino C, Recchi P, Colorio G, Primi risultati nell'impiego di un nuovo dispositivo "ecologico" per l'abbattimento delle polveri nella raccolta meccanizzata delle nocciole: valutazione della produzione di particolato atmosferico, Atti del convegno dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Belgirate, 22-24 settembre 2011.

Pubblicazioni su riviste divulgative

Acampora A, Croce S, **Gallo P**, Assirelli A, Pari L. , Comby TR 200 alla prova su residui di potatura di nocciolo, supplemento all' Informatore Agrario n°43/2013 pagg. 27-30.

Biocca M, Cecchini M, Fedrizzi M, **Gallo P**, Guerrieri M, Pagano M, Perrino C, Come abbattere le polveri nella raccolta di frutta in guscio, L'informatore agrario n° 43 del 16 novembre 2012, pagg.67-70

Bibliografia citata

Abbasi, T, Abbasi, S A, Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010; 14, 919e937.

Apenet (2011). Relazione sull'attività svolta e sui risultati ottenuti nell'ambito del progetto APENET per la tematica "Effetti del mais conciato sulle api" Anno 2011. consultabile su: <http://www.reterurale.it/flex/cm/pages>.

Bonmatin JM, Moineau I, Charvet R, Colin ME, Fleche C, Bengsch ER, Behaviour of Imidacloprid in Fields. Toxicity for Bees. In *Environmental Chemistry, Green Chemistry and Pollutants in Ecosystems*, 2005; (44) Part V; Lichtfouse, Schwarzbauer, Robert, Eds. 483-494.

Bortolotti L, Montanari R, Marcelino J, Medrzycki P, Maini S, Porrini C, Effects of sub-lethal imidacloprid doses on the homing rate and foraging activity of honey bees, *Bulletin of Insectology* 2003;(56) 63-68.

Bortolotti L, Sabatini A G, Mutinelli F, Astuti M, Lavazza A, Piro R, Tesoriero D, Medrzycki P, Sgolastra F, Porrini C, Spring honey bee losses in Italy, *Julius-Kühn-Archiv*, 2010 (423): S-148.

Chauzat M P, Faucon JP, Martel A C, Lachaize J, Cougoule N, Aubert M, A survey of pesticide residues in pollen loads collected by honey bees in France, *Journal of Economic Entomology* 2006; 99 (2): 253-262.

Colin M E, Bonmatin M, Moineau I, Gaimon C, Brun S, Vermandere J P. A method to quantify and analyze the foraging activity of bees: relevance to the sublethal effects induced by systemic insecticides, *Archives of environmental contamination and toxicology* 2004; 47:387-395.

Commissione Europea, Direttiva 1999/38/CE che modifica per la seconda volta la direttiva 90/394/CEE sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni durante il lavoro, estendendola agli agenti mutageni, su *Gazzetta Ufficiale* n. L 138 del 01 giugno 1999.

Commissione Europea, Direttiva europea n. 37/ 2004 sulla protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da un'esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro (sesta direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE del Consiglio) su Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 229/23 del 29 aprile 2004.

Decreto del Presidente della Repubblica 19 marzo 1956, n. 303 Norme generali per l'igiene del lavoro, su supplemento ordinario alla Gazzetta ufficiale n. 105 del 30 aprile 1956.

Decreto Legislativo n° 277/1991 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, su Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 200, del 27 agosto 1991.

Decreto Legislativo n° 626/1994 Disposizioni in materia di sicurezza sul lavoro, su supplemento ordinario n° 141 alla Gazzetta Ufficiale n. 265 del 12 novembre 1994.

Decreto Ministeriale del 25 novembre 1994 Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinamenti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al decreto ministeriale 15 aprile 1994, su Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 290 del 13 dicembre 1994.

Decreto del Presidente della Repubblica 24 luglio 1996, n. 459 (*"direttiva macchine"*) Regolamento per l'attuazione delle direttive 89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE e 93/68/CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine su Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 209 del 6 settembre 1996.

Decreto legislativo n. 351 del 4 agosto 1999 Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente, su Gazzetta Ufficiale n.241 del 13 ottobre 1999.

Decreto legislativo n.66 del 25 febbraio 2000 Attuazione delle direttive 97/42/CE e 1999/38/CE, che modificano la direttiva 90/394/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro, su Gazzetta Ufficiale n. 70 del 24 marzo 2000.

Decreto legislativo n.25, 2 febbraio 2002 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, su Supplemento Ordinario n. 40/L alla Gazzetta Ufficiale n. 57 dell'8 marzo 2002.

Decreto Ministeriale 60/02 Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio su Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 87 del 13 aprile 2002.

Decreto legislativo 81/2008 ("testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro") Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro su Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008.

Desneux N, Decourtye A, Delpuech J-M, The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods, Annual Review of Entomology, 2007; 52 (1) 81–106.

Eiri D M, Nieh J CA, Nicotinic acetylcholine receptor agonist affects honey bee sucrose responsiveness and decreases waggle dancing. The Journal of Experimental Biology, 2012; 215 (12): 2022–2029.

El Hassani AK, Dacher M, Gauthier M, Armengaud C, Effects of sublethal doses of fipronil on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*), Pharmacol Biochem Behav 2005; 82:30–35.

Fuselli S et al. (a cura di), Rapporti ISTISAN (Istituto superiore di sanità) strategie di monitoraggio dei composti organici volatili (cov) in ambiente indoor, 2013.

Girolami V, Mazzon L, Squartini A, Mori N, Marzaro M, Di Bernardo A, Greatti M, Giorio C, Tapparo A, Translocation of neonicotinoid insecticides from coated seeds to seedling guttation drops: a novel way of intoxication for bees, *Journal of economic entomology*, 2009; 102 (5) 1808–1815.

Greatti M, Sabatini A G, Barbattini R, Rossi S, Stravisi A, Risk of environmental contamination by the active ingredient imidacloprid used for corn seed dressing. Preliminary results, *Bulletin of Insectology*. 2003; 56, 69–72.

Greatti M, Barbattini R, Stravisi A, Sabatini A G, Rossi S, Presence of the aiimidacloprid on vegetation near corn fields sown with Gaucho® dressed seeds, *Bulletin of Insectology*. 2006; 59 (2) 99-103.

ISO Norm 10473:2000 Ambient air -- Measurement of the mass of particulate matter on a filter medium -- Beta-ray absorption method.

ISO Norm 12141:2002 Stationary source emissions -- Determination of mass concentration of particulate matter (dust) at low concentrations -- Manual gravimetric method.

ISTAT, Istituto Nazionale di Statistica, consultabile su: <http://agri.istat.it>. Accesso Aprile, 2014.

Iwasa T, Motoyama N, Ambrose J T, Roe R M, Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*, *Crop Protection*, 2004; 23 (5) 371–378.

Jones, A.M., Harrison, R.M., 2004. The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations e a review. *Sci. Total Environ.* 326, 151e180. Consultabile su <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/kwes.pdf>

Maini S, Medrzycki P, Porrini The puzzle of honey bee losses: a brief review, *Bulletin of Insectology*, 2010; 63 (1) 153–160.

McCurdy S A, Ferguson T J, Goldsmith D F, Parker J E, Schenker M B, *Respiratory health of California rice farmers*, Am J Respir Crit Care Med 1996; 153(5):1553-1559.

NIOSH Agricultural Research Centers Update, *Organic Dust and Respiratory Disease in Agriculture*, Vol.2 N. 4 , 2005.

Noll M, Naumann A, Ferrero F, Malow M, Exothermic processes in industrial-scale piles of chipped pine-wood are linked to shifts in gamma-, alphaproteobacterial and fungal ascomycete communities. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 2010; 64, 629e637.

Noll M, Jirjis R, Microbial communities in large-scale wood piles and their effects on wood quality and the environment. *Appl Microbiol Biotechnol* 2012;95(3):551e63.

Nuyttens D, Devarrewaere W, Verboven P, Foque D, Pesticide-laden dust emission and drift from treated seeds during seed drilling: a review, *Pest Management Science*, 2013; 69, 564–575.

O’Gorman C M, Fuller H T, Prevalence of culturable airborne spores of selected allergenic and pathogenic fungi in outdoor air. *Atmos. Environ.* 2008; 42, 4355e4368.

Pistorius J, Bischoff G, Heimbach U, Stähler M, Bee poisoning incidents in Germany in spring 2008 caused by abrasion of active substance from treated seeds during sowing of maize, *Julius-Kühn-Archiv* 2010 (423) S–118.

Prier K R S, Lighthart B, Bromenshenk J J, Adsorption, model of aerosolized bacterial spores (*Bacillus subtilis* variety *niger*) onto free-flying honey bees (Hymenoptera: Apidae) and its validation, *Environmental entomology*, 2001; 30 (6) 1188–1194.

Rajini P, Last J A, McCurdy S A, Lawson R, Southard R J, Allamneni K P, Witschi H. *Lung injury and fibrogenic response to dusts from citrus and grape harvests*, *Inhalat Toxicol*, 1995; 7:363-376.

Smeets E M W, Faaij A P C, Lewandowski, I M, Turkenburg W C, A bottomup assessment and review of global bio-energy potentials to 2050, Prog. Energy Combust, 2007, Sci. 33, 56e106.

Suchail S, Guez D, Belzunces L P, Discrepancy between acute and chronic toxicity induced by imidacloprid and its metabolites in *Apis mellifera*, Environmental toxicology and chemistry, 2001; 20 (11) 2482–2486.

Suchomel J, Belanová K., Slančík M, Analysis of fungi occurrence in energy chips piles, J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci. 2012; 3, 369e382.

Terho EO. *Work-related respiratory disorders among Finnish farmers*, Am J Ind Med, 1990; 18(3):269-272.

Tingle C C, Rother J A, Dewhust C F, Lauer S, King W J, Fipronil: environmental fate, ecotoxicology, and human health concerns, Rev Environ Contam Toxicol, 2003; 176: 1-6.

Tremolada P, Mazzoleni M, Saliu F, Colombo M, Vighi M, Field trial for evaluating the effects on honeybees of corn sown using Cruiser and Celest treated seeds, Bull Environ Contam Toxicol, 2010; 85: 229–234.

UNI EN Norma 481/1994 Atmosfera nell' ambiente di lavoro. Definizione delle frazioni granulometriche per la misurazione delle particelle aerodisperse.

UNI EN Norma 689/1997 Atmosfera nell' ambiente di lavoro - Guida alla valutazione dell' esposizione per inalazione a composti chimici ai fini del confronto con i valori limite e strategia di misurazione.

UNI ISO Norma 7708:1998 Qualità dell' aria - Definizioni delle frazioni granulometriche per il campionamento relativo agli effetti sanitari.

UNI EN Norma 482 / 2000 Requisiti generali per le prestazioni dei procedimenti di misurazione degli agenti chimici.

UNI EN Norma 12341/ 2001 Qualità dell' aria - Determinazione del particolato in sospensione PM10 - Metodo di riferimento e procedimento per prove in campo atte a dimostrare l' equivalenza dei metodi di misurazione rispetto al metodo di riferimento.

UNI EN Norma 14907 /2005 Qualità dell' aria ambiente - Metodo normalizzato di misurazione gravimetrico per la determinazione della frazione massica PM 2,5 del particolato in sospensione.

Bibliografia consultata

Analitica strumenti s.r.l., *Guida al campionamento dell'aria*, (2011)

Bernini M, valutazione dell'esposizione agli inquinanti aerodispersi, durante l'utilizzo delle attrezzature portatili, , tesi di dottorato di ricerca in meccanica agraria, Università della Tuscia, Viterbo, 2008.

Cirla P E e Martinotti I (a cura di), *Polveri di legno: salute e sicurezza*, Atti del convegno, Como, 2008.

Cornet M, Fleury L, Maslo C, Bernard J F, Brucker G Epidemiology of invasive aspergillosis in France: a six-year multicentric survey in the Greater Paris area. J. Hosp. Infect. 2002; 51, 288e296.

Department for Work and Pensions, *Nasopharyngeal cancer due to exposure to wood dust*, Parliament by the Secretary of State for Work and Pensions by Command of Her Majesty, July 2007.

Gamsky TE, McCurdy SA, Samuels SJ, Schenker MB. Reduced FVC among California grape workers, Am Rev Respir Dis, 1992; 257-262.

General Recommendations of the Swedish National Board of Occupational Safety and Health on Organic Dust in Agriculture, 1994.

Gianelle V, Mognaschi G, Colombi C (a cura di), *Procedura di condizionamento e pesatura dei filtri campione ottenuti con sistemi di campionamento LVS per la determinazione del particolato PM10/PM2.5/PM1 mediante metodo gravimetrico*, ARPA Lombardia, 2005.

Grisoli P, Rodolfi M, Villani S, Grignani E, Cottica D, Berri A, Maria Picco A, Dacarro C, Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant, Environ. Res. 2009; 109, 135e142.

Health and Safety Executive information sheet, Wood dust: hazards and precautions, 12/2003.

INAIL, Andamento degli infortuni sul lavoro, numero 11, novembre 2006.

Magagnotti N, Analisi dei cantieri di cippatura in merito ad aspetti operativi e di salvaguardia degli operatori, dottorato di ricerca in ingegneria agraria, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, 2012.

Müller N, Faria X, Facchini L A, Gastal Fassa A, Tomasi E, Farm work, *Dust exposure and respiratory symptoms among farmers*, Rev. Saúde Pública 2006;40(5).

Puleggi R, *Esposizioni a polveri e rumori per gli addetti nella filiera del nocciolo*, tesi di dottorato di ricerca in meccanica agraria, Università della Tuscia, Viterbo, (2004).

Schenker M, *Exposures and Health Effects from Inorganic Agricultural Dusts*, Environmental Health Perspectives Vol. 108, Supplement 4, August 2000.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare tutto il personale del CRA-ING coinvolto nelle prove, in particolar modo il Dott. Marcello Biocca e il Dott. Daniele Pochi per l'assistenza totale nei miei confronti. Il geom. Giancarlo Imperi per l'assistenza in campo e i colleghi che mi hanno fornito le foto che mi mancavano.

I colleghi del CNR- IIA (Istituto sull' inquinamento atmosferico) di Montelibretti, la dott.ssa Cinzia Perrino, il dott. Stefano Dalla Torre e la dott.ssa Francesca Marcovecchio per tutta la collaborazione offerta. Altri per avermi sempre permesso l'accesso alla strumentazione, il signor Marco Giusto in particolar modo.

Il dott. Patrizio "Baffo" Pulcini per la velocità nell'analisi chimiche dei filtri.

Il prof. Massimo Cecchini, il prof. Danilo Monarca e tutte le persone del DAFNE della facoltà di Agraria dell' Università della Tuscia di Viterbo, per la loro collaborazione, comprensione e competenze trasmesse negli incontri universitari ed al di fuori di questi.

I dottorandi, colleghi ed amici, di questo corso.

Il personale della FACMA di Vitorchiano, per le macchine, le prove, il loro impegno e la loro collaborazione fattiva. I proprietari, fratelli Bellachioma per l'entusiasmo trasmesso.

I miei familiari, mia moglie e i miei amici perché meritano a prescindere il mio grazie di cuore.

Tutti coloro che contribuiscono a rendere migliore la nostra vita, consci che "nonostante i suoi inganni, travagli e sogni infranti, questo è pur sempre un mondo meraviglioso".

Viterbo 23 giugno 2014,

Pietro Gallo