

INTEGRAZIONE TRA GLI ASPETTI ERGONOMICI E DI SICUREZZA IN TRATTORI E MACCHINE AGRICOLE

a cura di **Carlo Bisaglia**



Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura,
Unità di ricerca per l'ingegneria agraria (CRA-ING)

INTEGRAZIONE TRA GLI ASPETTI ERGONOMICI E DI SICUREZZA IN TRATTORI E MACCHINE AGRICOLE

a cura di Carlo Bisaglia

Risultati delle ricerche del Progetto:

INTRAC



Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per l'ingegneria agraria (CRA-ING)

Titolo *Integrazione tra gli aspetti ergonomici e di sicurezza in trattori e macchine agricole*

Autori *Antonutto Guglielmo, Biocca Marcello, Bisaglia Carlo (curatore), Bordinon Marco, Caffaro Federica, Carnevali Carlo, Cavallo Eugenio, Cutini Maurizio, Del Duca Lindoro, Di Nocera Francesco, Fanigliulo Roberto, Fedrizzi Marco, Fornaciari Laura, Forte Giada, Gallo Pietro, Grilli Renato, Iuri Marzia, Liberatori Sandro, Longo Emiliano, Maietta Marco, Marcolin Francesco, Marcovecchio Francesca, Mastrangelo Simon, Mazzenga Maurizio, Micheletti Cremasco Margherita, Nataletti Pietro, Ostuni Cosimo, Perrino Cinzia, Pochi Daniele, Pulcini Patrizio, Romano Elio, Taboga Paolo, Vassalini Gennaro, Volpi Carlo.*

ISBN 978-88-97081-65-4

Data di pubblicazione *Novembre 2014*

Stampa *on-line*

Codice progetto *Progetto INTRAC (D.M. Ministero delle Politiche agricole, alimentari e forestali n. 12488/7303/11 del 09/06/2011).*

© Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura

Edito da Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura.

Tutti i diritti riservati – All rights reserved

Indice

Capitolo 1 Analisi statistiche e normative sui trattori agricoli e forestali	7
Capitolo 2 Studio e sviluppo di dispositivi per la riduzione del rischio derivante dall'esposizione dell'operatore ad agenti fisici (rumore e vibrazioni)	19
Capitolo 3 Studio e sviluppo di dispositivi per la riduzione del rischio derivante dall'esposizione dell'operatore ad agenti chimici (dispersione di fitofarmaci veicolati nell'aria tramite polveri e aerosol)	49
Capitolo 4 Studio del profilo del suolo agrario per l'analisi degli scambi di forze con il trattore agricolo	80
Capitolo 5 Sviluppo di una metodologia semplificata per lo studio del comfort degli operatori agricoli	89
Capitolo 6 Monitoraggio tramite smartphone dell'agente "Whole Body Vibration"	95
Capitolo 7 Applicazione della metodologia di calcolo dell'"Indice di comfort" alla valutazione strumentale del comfort offerto da due tipologie di sedili di trattore in cinque condizioni operative.....	101
Capitolo 8 Impatto dell'innovazione tecnologica sul carico di lavoro mentale alla guida di trattori: un contributo empirico	122
Capitolo 9 Valutazione soggettiva del comfort del posto di guida di trattori agricoli. Risultati di un'indagine tra gli operatori.....	131
Capitolo 10 Guida di macchine agricole e incidenti: il ruolo del controllo attentivo ..	156
Capitolo 11 Adozione di un processo Human-Centred Design (HCD) per l'ideazione e la realizzazione di un manuale su salute e sicurezza dedicato ai conducenti di trattori agricoli.....	160
Appendice	177

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare per il contributo determinante alla realizzazione del presente volume tutte le persone, enti e aziende che, con la loro disponibilità, professionalità e collaborazione, hanno fornito un apporto decisivo di dati, di tempo, di informazioni, di tecnologia nei vari e numerosissimi aspetti indagati.

In particolare, un ringraziamento ai tecnici del CRA-ING di Monterotondo Gino Brannetti e Cesare Cervellini per la preparazione dei mezzi e dei banchi prova.

Un ringraziamento ai tecnici del Laboratorio CRA-ING di Treviglio, Gianluigi Rozzoni, Ivan Carminati, Elia Premoli e Alex Filisetti, per il contributo nell'individuazione dei panel di utenti, nell'allestimento dei tracciati di prova, nella strumentazione dei trattori e nella conduzione delle macchine agricole.

Gli autori del CNR-IMAMOTER di Torino e del Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi dell'Università di Torino, desiderano ringraziare Giuseppe Paletto per la collaborazione nella definizione delle prove e della procedura di indagine e la Dott.ssa Giorgia Bagagiolo e Stefano Cavallo per l'aiuto fornito in fase di raccolta ed elaborazione dei dati.

Infine, proprio perché è difficile ringraziare tutti gerarchicamente, ci limiteremo a considerare che solo l'integrazione di moltissime competenze e discipline ha permesso la nascita e lo svolgimento del Progetto INTRAC il cui obiettivo è proprio quello di integrare – o per lo meno di provarci – settori diversi, così com'è illustrato nel presente volume.

Capitolo 1

Analisi statistiche e normative sui trattori agricoli e forestali

Sandro Liberatori, Carlo Carnevali

ENAMA, Roma

Sommario

Il presente capitolo illustra i risultati del Work Package (WP) 9 del progetto INTRAC che aveva lo scopo di descrivere, attraverso le normative vigenti e le elaborazioni statistiche, lo stato dell'arte del comparto trattoristico in Italia, evidenziando la necessità di migliorare l'ergonomia degli operatori agricoli e forestali.

L'ENAMA ricopre una posizione di rilievo, a livello nazionale e internazionale, per quanto riguarda l'aggiornamento delle normative, e possiede un'ottima visione generale dell'andamento del settore annoverando tra i suoi soci i maggiori esponenti della filiera agricola italiana.

Attraverso uno spazio FTP dedicato, protetto con username e password sono state messe a disposizione del gruppo di lavoro INTRAC le principali normative riguardanti i trattori agricoli e forestali (CE, EN, ISO e OCSE).

Sul sito di ENAMA, inoltre, sono pubblicati degli opuscoli e monografie che trattano i maggiori rischi connessi all'uso delle macchine e attrezzature agricole.

Di rilievo sono anche le elaborazioni statistiche di ENAMA, riguardanti il settore macchine agricole sia a livello nazionale che internazionale. Ogni statistica è stata accompagnata da una breve relazione esplicativa dei dati riportati.

L'ENAMA, essendo Centro di Coordinamento delle attività OCSE per il rilascio delle certificazioni riguardanti i trattori agricoli e forestali e i loro componenti in accordo agli standard medesimi, e Membro dell'ENTAM (European Network for Testing of Agricultural Machinery), ha potuto con la sua rete di contatti organizzare dei proficui incontri divulgativi e informativi sul lavoro svolto. Durante questi incontri è stato possibile condividere opinioni e modalità operative, avvalendosi anche della partecipazione di esperti provenienti da tutto il mondo.

Introduzione

L'interesse delle istituzioni pubbliche e private in merito alla sicurezza e all'ergonomia sul lavoro è sempre maggiore, e il mercato stesso richiede studi e soluzioni efficaci per la protezione degli operatori, specialmente quelli agricoli.

Questo interesse si è concretizzato con il D.M. 12488/7303/11 del 09/06/2011, con il quale Il Ministero delle Politiche agricole, alimentari e forestali ha reso ufficiale l'inizio dei lavori riguardanti il progetto "Integrazione tra gli aspetti ergonomici e di sicurezza nei trattori agricoli - INTRAC".

L'ENAMA, Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola, in considerazione del Suo ruolo a livello nazionale e internazionale è stata reputata come una figura fondamentale per fornire al gruppo di lavoro un quadro normativo e statistico il più possibile esaustivo dell'argomento.

Più di 30 standard Europei sulla sicurezza e 9 Codici OCSE sono stati attualmente pubblicati e oltre 600 norme armonizzare supportano i requisiti della Direttiva Macchine; nella sola Italia esistono complesse norme per le prestazioni, la sicurezza, la protezione ambientale (UNI, EN, ISO, OCSE, etc.), nonché il Codice della Strada per la circolazione su strada.

Queste normative sono in continua evoluzione e il reperimento, la refertazione, l'archiviazione, l'aggiornamento e la messa a disposizione delle stesse richiede un'intensa e dispendiosa attività.

L'ENAMA, inoltre, da più di 10 anni pubblica monografie, linee guida, schede tecniche, elaborati e studi sull'uso in sicurezza delle macchine agricole che sono state diffuse sia in versione telematica sia cartacea.

Lo studio e lavoro di ENAMA riguarda anche una raccolta di elaborati statistici sugli infortuni in agricoltura. La condivisione di questi elaborati col gruppo di lavoro INTRAC ha permesso a tutti di poter inquadrare nel migliore dei modi la problematica da affrontare, e quindi, dove meglio dirigere i propri lavori.

Parte tecnica

Le normative sono delle regole alle quali ogni soggetto economico deve rispondere al fine di poter garantire dei requisiti necessari di sicurezza e qualità di qualsiasi prodotto o processo.

Le macchine agricole, essendo atte a lavori molto complessi e diversificati, sono monitorati con particolare attenzione da parte delle istituzioni pubbliche e private. Inoltre l'evoluzione di queste tipologie di macchine è molto veloce, basti pensare che negli ultimi anni sono stati progettati e messi in commercio prototipi sempre più sofisticati e tecnologici.

L'ENAMA, partecipando attivamente a gruppi di lavoro in ambito normativo, ha potuto fornire in breve tempo tutto il supporto iniziale necessario all'inquadramento della problematica. In dettaglio, al fine di perseguire i suoi incarichi ha messo a disposizione del gruppo di lavoro uno spazio FTP dedicato, protetto con username e password.

In questa cartella si è fornita l'attuale classificazione in Europa e Italia dei trattori agricoli, nonché tutte le direttive parziali CE, necessarie per l'ottenimento dell'omologazione comunitaria dei trattori agricoli e forestali, evidenziando in un *abstract* quelle di maggiore interesse per il progetto.

La Direttiva, attualmente, di riferimento per l'omologazione trattori agricoli in ambito europeo è la direttiva 2003/37/CE del 26 maggio 2003 (versione consolidata al 29/09/2010), la cosiddetta "Direttiva Quadro" per l'omologazione CE.

Nella cartella sono state caricate anche:

- la direttiva 2010/52/CE, dell'11 agosto 2010, che ha integrato la direttiva quadro per taluni aspetti relativi alla sicurezza dei trattori;
- le norme ISO 8084:2003 (requisiti OPS – Operator Protective Structures), ISO 3600:1996 (manuale d'istruzioni);
- la norma EN 15695-1:2009 (requisiti cabina per la prevenzione del contatto con sostanze pericolose).

Congiuntamente alle normative sopracitate, sono stati condivisi anche i 9 Codici OCSE della versione "Febbraio 2012". I Codici OCSE, sono delle norme tecniche riconosciute nei Paesi Membri, e trattano delle prove statiche e dinamiche necessarie per ottenere l'omologazione OCSE delle strutture di protezione in caso di ribaltamento o caduta di

oggetti dall'alto montate sui trattori agricoli e forestali. Le stesse sono riconosciute anche come alternative ad alcune direttive CE, quindi valide per l'ottenimento della già citata omologazione comunitaria.

Di particolare rilevanza tra questi Codici è il Codice 2, che fornisce un quadro generale sulle prestazioni dei trattori agricole e forestali. I risultati ottenuti con le modalità di prova OCSE forniscono anche un'ottima visione complessiva delle prestazioni degli stessi.

Normative CE

La Direttiva 2003/37/CE definisce il concetto di trattore agricolo, rimandando per le prove tecniche a una lista di direttive parziali alle quali ogni trattore agricolo deve rispondere al fine di poter ottenere un'omologazione CE del tipo.

Per la definizione di trattore (T), in ambito CE, si riporta l'elenco delle categorie trattori a ruote descritta nell'Allegato II Capitolo A della "Direttiva Quadro":

- T1: trattori a ruote aventi una velocità massima per costruzione non superiore a 40 km/h, carreggiata minima dell'asse più vicino al conducente uguale o superiore a 1.150 mm, massa a vuoto in ordine di marcia superiore a 600 kg e altezza libera dal suolo inferiore o uguale a 1.000 mm;
- T2: trattori a ruote aventi una velocità massima per costruzione non superiore a 40 km/h, carreggiata minima inferiore a 1.150 mm, massa a vuoto in ordine di marcia superiore a 600 kg e altezza libera dal suolo inferiore o uguale a 600 mm; tuttavia, quando il quoziente tra l'altezza del baricentro del trattore (misurata rispetto al suolo) e la media delle carreggiate minime di ciascun asse è superiore a 0,90, la velocità massima per costruzione è limitata a 30 km/h;
- T3: trattori a ruote aventi una velocità massima per costruzione non superiore a 40 km/h e massa a vuoto in ordine di marcia inferiore o uguale a 600 kg;
- T4: trattori a ruote per usi specifici aventi una velocità massima per costruzione non superiore a 40 km/h;
- T5: trattori a ruote la cui velocità massima per costruzione è superiore a 40 km/h.

Nella Tabella 1 che segue, si riportano tutte le direttive parziali CE della "Direttiva Quadro". Nelle varie colonne si potranno trovare: i riferimenti normativi, eventuali alternative riconosciute equivalenti dagli Stati Membri, l'argomento trattato da queste normative e la classe di trattori a ruote "T" alla quale è applicata la norma. Essendo il progetto INTRAC maggiormente interessato agli aspetti ergonomici, sono evidenziate in colore le normative di maggior interesse alla problematica.

Tabella 1- Elenco prescrizioni di omologazione CE di trattori agricoli e forestali a ruote

Direttive CE vigenti	Alternative			Argomento	Applicazione
	CEE	UNECE	OCSE		
2009/63/CE				Massa massima a pieno carico	T1, T2, T3, T4.1, T4.2, T4.3, T5
2009/63/CE				Targa d'immatricolazione	T1, T2, T3, (T4.1), (T4.2), T4.3, T5
2009/63/CE				Serbatoio del car-	T1, T2, T3,

				burante	T4.1, T4.2 T4.3, T5
2009/63/CE				Zavorratura	T1, T2, T4.1 T4.2, T4.3, (T5)
2009/63/CE	73/288/CEE	R28		Segnalatore acustico	T1, T2, T3, T4.1, T4.2 T4.3, (T5)
2009/63/CE	70/157/CEE	R51		Livello sonoro (esterno)	T1, T2, T3, (T4.1), (T4.2), T4.3, (T5)
74/152/CEE				Velocità massima	T1, T2, T3, T4.1, T4.2 T4.3, (T5)
74/152/CEE				Piattaforme di carico	T1, T2, T3, (T4.1) T4.2 T4.3, (T5)
74/346/CEE				Retrovisori	T1, T2, (T4.1) T4.2, T4.3, (T5)
74/347/CEE	77/649/CEE	R71		Campo di visibilità e tergicristallo	T1, T2, T3, (T4.1), (T4.2), T4.3, (T5)
75/321/CEE	70/311/CEE	R79		Dispositivi di sterzo	T1, T2, T3, T4.1, T4.2 T4.3, (T5)
2009/64/CE	72/245/CEE	R10		Compatibilità elettromagnetica	T1, T2, T3, T4.1, T4.2 T4.3, T5
76/432/CEE 71/320/CEE	71/320/CEE	R13		Freni	T1, T2, T3, (T4.1), T4.2 T4.3, T5 -----
76/763/CEE abrogata				Sedile accompagnatore	T1, T2, T3, T4.1, T4.2 T4.3, T5
2009/76/CE				Livelli sonori (interni)	T1, T2, T3, (T4.1), T4.2 T4.3, (T5)
2009/57/CE			Codice 3	Protezione contro il capovolgimento	T1, T4.2 T4.3, (T5)
78/764/CEE				Sedile del conducente	T1, T2, T3, (T4.1), T4.2 T4.3, (T5)
2009/61/CE		R86		Installazione dei dispositivi di illuminazione	T1, T2, T3, (T4.1), (T4.2), T4.3, (T5)
2009/68/CE	76/757/CEE 76/758/CEE 76/759/CEE 76/760/CEE 76/761/CEE	R3, R7, R6, R4, R1/R8/R 20/R98, R19,		Disposizione e segnalazione luminosa	T1, T2, T3, T4.1, T4.2 T4.3, T5

	76/762/CEE 77/538/CEE 77/539/CEE	R38, R23			
2009/58/CE				Dispositivi di rimorchio e di retro-marcia	T1, T2, T3, (T4.1), T4.2 T4.3, (T5)
2009/75/CE			Codice 4	Protezione contro il capovolgimento (prove statiche)	T1, (T5)
80/720/CEE				Spazio di manovra e accesso al posto di guida	T1, T3, (T5)
86/297/CEE				Prese di forza	T1, T2, T3, T5
86/298/CEE			Codice 7	Dispositivi di protezione contro il capovolgimento montati posteriormente (trattori carreggiata stretta)	T2, (T5)
86/415/CEE				Installazione dei comandi	T1, T2, T3, (T5)
87/402/CEE			Codice 6	Dispositivi di protezione contro il capovolgimento montati anteriormente (trattori carreggiata stretta)	T2, (T5)
89/173/CEE				Dimensioni e masse rimorchiabili	T1, T2, T3, (T5)
89/173/CEE	92/22/CEE	R43		Vetri	T1, T2, T3, (T5-92/22/CEE)
89/173/CEE				Regolatore di velocità	T1, T2, T3, (T5)
89/173/CEE				Protezione degli elementi motore	T1, T2, T3, (T5)
89/173/CEE				Collegamento meccanici	T1, T2, T3, (T5)
89/173/CEE				Targa regolamentare	T1, T2, T3, (T5)
89/173/CEE				Collegamento di frenatura con i rimorchi	T1, T2, T3, (T5)
2000/25/CEE	88/77/CEE	R49/R96		Emissioni inquinanti	T1, T2, T3, T5
No CEE				Pneumatici	T1, T2, T3, T5
No CEE				Stabilità	(T5 – DS)

76/115/CEE			Codici 3, 4, 6, 7, 8	Ancoraggi delle cinture di sicurez- za	T1, T2, T3, T5
77/541/CEE				Cinture di sicu- rezza	T5
75/443/CEE				Tachimetro e re- tromarcia	T5
91/226/CEE				Dispositivi anti- spruzzi	T5
92/24/CEE				Limitatore di velo- cità	T5
No CEE				Dispositivi di pro- tezione posteriore	
89/297/CEE				Protezione laterale	T5

(--)= applicabile previa eventuale modifica
DS = direttiva specifica

Codici OCSE

Di fondamentale importanza sono anche le già citate prove di omologazione OCSE, di cui l'ENAMA è Centro di Coordinamento (Figura 1). A differenza delle normative CE riportate nella precedente tabella, i Codici OCSE hanno valenza anche al di fuori del territorio europeo. I numeri d'approvazione OCSE sono riconosciuti in 26 paesi, inclusi 4 paesi non-membri (Cina, India, Federazione Russa, e Serbia) e inoltre l'OCSE conta 30 stazioni di prova localizzate in Europa, Asia ed America. Le stazioni di prova, con la supervisione delle Autorità Designate Nazionali e il Centro di Coordinamento, hanno lo scopo di garantire che le prove siano effettuate in conformità alle procedure OCSE.

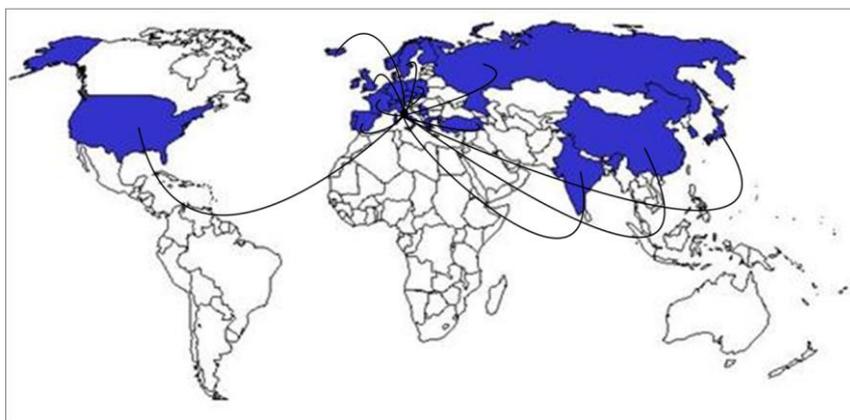


Figura 1 – Area d'azione del Centro di coordinamento ENAMA.

Nello specifico, i 9 Codici pubblicati con l'edizione "Febbraio 2012" sono:

Codice 2

Prove di prestazioni dei trattori agricoli e forestali.

Codice 3

Prove di resistenza delle strutture di protezione per i trattori agricoli e forestali (Prove Dinamiche).

Codice 4

Prove di resistenza delle strutture di protezione per i trattori agricoli e forestali (Prove Statiche).

Codice 5

Misurazione del rumore alla/e posizione/i di guida.

Codice 6

Prove di resistenza dell'arco anteriore dei trattori agricoli e forestali a ruote a carreggiata stretta.

Codice 7

Prove di resistenza dell'arco posteriore dei trattori agricoli e forestali a ruote a carreggiata stretta.

Codice 8

Prove di resistenza della struttura di protezione su trattori cingolati.

Codice 9

Prove di resistenza della struttura di protezione montate su caricatori telescopici.

Codice 10

Prove di resistenza delle strutture di protezione per la caduta dall'alto di oggetti montate sui trattori agricoli e forestali.

Elaborazioni statistiche

L'ENAMA da anni raccoglie dati che riguardano il settore agricolo in Italia nonché gli infortuni dovuti all'uso dei mezzi agricoli, con particolare attenzione al trattore agricolo e forestale.

Con l'intento di dare un quadro più dettagliato dell'argomento agli esperti tecnici del progetto INTRAC, si è utilizzato il medesimo spazio FTP per condividere elaborazioni statistiche ENAMA sui dati raccolti da strutture o enti che per loro natura censiscono sul campo l'andamento del settore in Italia.

In dettaglio, si sono condivisi i seguenti documenti:

1. statistiche immatricolazioni macchine agricole dal 2007 al 2010 (fonte: FederUnacoma);
2. statistiche parco macchine agricole e stima trattori agricoli in uso (fonte: FederUnacoma);
3. statistiche degli infortuni in relazione agli occupati dal 1976 al 2010 (fonte: ISTAT e INAIL);
4. statistiche infortuni connessi all'uso del trattore dal 2003 al 2007 (fonte: INAIL);
5. statistiche incidenti stradali causati da macchine agricole dal 2004 al 2010 (fonte: ANIA).

In ogni documento sono state riportate delle note esplicative sui criteri di analisi e di raccolta dati.

Immatricolazioni macchine agricole (2007-2010)

La FederUnacoma, Federazione Nazionale Costruttori Macchine per l'Agricoltura, in qualità di rappresentante dei costruttori di macchine agricole stila ogni anno delle statistiche riguardanti le immatricolazioni delle macchine agricole in Italia. Lo studio riporta i dati di: trattrici, mietitrebbiatrici, motoagricole e rimorchi agricoli. I dati raccolti tengono in considerazione il periodo compreso tra il 2007 e il 2010. Se dal 2007 al 2009 si è assistito a una situazione pressoché stabile del mercato, interessanti sono i dati tra il 2009 e il 2010, dove per le sole trattrici agricole si è passati dalle 26.057 unità immatricolate alle 22.323 unità, cioè ben il -14,3% tra i due anni, Tabella 2. Il passaggio dal 2009 al 2010 è risultato negativo anche per le mietitrebbie, con un -20,6%, nonché per le motoagricole, -8,8%. Unico segnale positivo si è avuto per i rimorchi agricoli, con appena l'1,1% in più d'immatricolazioni. Nel complesso, in Italia, si è evidenziata una flessione globale del mercato delle macchine agricole.

Tabella 2 - Immatricolazione trattori agricoli e forestali (Elaborazione ENAMA).

Regioni	Trattori						
	2010	2009	2008	2007	Var. 2010/2009	Var. 2009/2008	Var. 2008/2007
Abruzzo	608	690	766	825	-11,9%	-9,9%	-7,2%
Basilicata	332	403	449	599	-17,6%	-10,2%	-25,0%
Calabria	612	945	982	1.212	-35,2%	-3,8%	-19,0%
Campania	1.578	1.473	1.320	1.671	7,1%	11,6%	-21,0%
Emilia R.	2.204	2.206	2.165	2.195	-0,1%	1,9%	-1,4%
Friuli	439	447	550	549	-1,8%	-18,7%	0,2%
Lazio	1.723	1.712	1.770	1.786	0,6%	-3,3%	-0,9%
Liguria	234	190	205	268	23,2%	-7,3%	-23,5%
Lombardia	2.244	1.755	2.875	2.575	27,9%	-39,0%	11,7%
Marche	656	717	755	684	-8,5%	-5,0%	10,4%
Molise	152	201	252	247	-24,4%	-20,2%	2,0%
Piemonte	1.845	3.236	3.223	2.686	-43,0%	0,4%	20,0%
Puglia	1.475	1.656	1.775	1.967	-10,9%	-6,7%	-9,8%
Sardegna	772	815	1.038	1.027	-5,3%	-21,5%	1,1%
Sicilia	1.295	2.457	2.115	1.775	-47,3%	16,2%	19,2%
Toscana	1.753	1.934	1.974	1.943	-9,4%	-2,0%	1,6%
Trentino	1.320	1.636	1.381	1.350	-19,3%	18,5%	2,3%
Umbria	566	699	710	576	-19,0%	-1,5%	23,3%
Valle d'Aosta	154	121	97	121	27,3%	24,7%	-19,8%
Veneto	2.361	2.764	2.859	2.779	-14,6%	-3,3%	2,9%
Totale Italia	22.323	26.057	27.261	26.835	-14,3%	-4,4%	1,6%

Parco macchine agricole al 31.12.2002

FederUnacoma, come già detto al paragrafo precedente, stila statistiche sulla vendita delle macchine agricole in Italia. Nel 2002 ha eseguito un vero e proprio censimento delle trattrici agricole in Italia. Nel 2002 risultavano 1.754.401 unità (Tabella 3). Pur-

troppo, a questo lavoro non è seguito nessun aggiornamento così dettagliato. Oggi, per quantificare il parco trattrici agricole in Italia, possiamo avvalerci solo di stime della stessa Società che nel 2011 ipotizzava una numerosità di circa 1.970.000 unità. Si fa presente, infine, che la stima del 2002 tiene conto solamente delle trattrici agricole che hanno fatto richiesta per l'ottenimento del carburante in regime fiscale agevolato.

Tabella 3 - Parco agro meccanico nazionale al 31.12.2002 (FederUnacoma).

Genere macchina	Totale macchine	Totale Potenza (CV)
Trattrici	1.754.401	108.074.166
Derivate	3.334	55.909
Altre macchine agricole	54.7349	10.263.270
Mietitrebbiatrici	57.348	7.185.052
Motoagricole	225.354	3.768.661
Motocoltivatori	405.664	4.579.265
Motofalciatrici	397.374	4.008.564
Motozappatrici	562.346	4.132.520
Totale	3.953.170	142.067.407

Statistiche degli infortuni in relazione agli occupati in agricoltura (1976- 2010)

L'ISTAT, Istituto Nazionale di Statistica, e l'INAIL, Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, ogni anno pubblicano, rispettivamente, dei dati sugli occupati e sugli infortuni, mortali e non, in agricoltura. I dati descritti in Tabella 4 consentono di delineare l'andamento infortunistico in Italia nonché occupazionale del settore agricolo dal 2005 al 2010.

Analizzando i dati si evidenzia una diminuzione degli occupati in agricoltura, ma anche una sensibile diminuzione del numero di infortuni nel settore, specialmente quelli mortali. Questi dati, comunque, non considerano il lavoro atipico, argomento che negli ultimi anni è di particolare interesse visto l'aumento degli immigrati irregolari occupati prevalentemente in mansioni agricole e edili.

Tabella 4 - Infortuni in agricoltura in relazione agli occupati.

Anno	Denunce ¹							
	Occupati ⁴ (.000)	Varia- zione ²	Infortuni ⁵ (n.)	Varia- zione ²	Incidenza infortuni su occupati	Casi mortal ^{3,5} (n.)	Varia- zione ²	Incidenza infortuni mortal ³
2005	947	-4,3%	66.463	-4,0%	7,0%	141	-19,4%	0,21%
2006	981	3,6%	63.082	-5,1%	6,4%	125	-11,3%	0,20%
2007	923	-5,9%	57.205	-9,3%	6,2%	107	-14,4%	0,19%
2008	895	-3,0%	53.354	-6,7%	6,0%	120	12,1%	0,22%
2009	874	-2,3%	52.665	-1,3%	6,0%	117	-2,5%	0,22%
2010	891	1,9%	50.180	-4,7%	5,6%	107	-8,5%	0,21%

1) Il numero dei decessi, dei casi e degli occupati è da intendersi in valore assoluto.

2) Si intende rispetto all'anno precedente.

3) Nel numero dei decessi è considerato anche il numero di quelli in itinere.

4) Fonte ISTAT.

5) Fonte INAIL.

Infortunati connessi all'uso del trattore (2003-2007)

L'INAIL nel periodo compreso dal 2004 al 2007 ha portato avanti uno studio al fine di rilevare gli infortuni causati dai trattori agricoli, suddividendo gli stessi per tipologia di infortunio o decesso.

L'evento infortunistico causato dall'utilizzo del trattore agricolo è risultato essere la caduta della persona per scivolamento o inciampamento, per esempio nel 2004 sono stati segnalati ben 2.948 casi. Per quanto riguarda gli infortuni mortali si registra che l'evento con maggiore incidenza è quello della perdita del controllo totale o parziale della macchina.

La raccolta di dati risulta purtroppo essere parziale poiché non tiene in considerazione degli infortuni catalogati in modo incompleto o illeggibile o che non tengono in considerazione la causa dell'infortunio. Infatti, i verbali dell'infortunio, sono stati redatti a mano dai responsabili alla rilevazione dell'incidente.

Incidenti stradali causati da macchine agricole (2004 - 2010).

L'associazione ANIA, Associazione Nazionale fra le Imprese Assicuratrici, ogni anno redige delle statistiche riguardanti i sinistri causati da veicoli con assicurazione RC Auto. Queste statistiche sono stilate in base ad un campionamento delle RC Auto complessivamente in circolazione e non tiene conto quindi degli incidenti causati a persone o cose fuori dalla strada. Tra le varie categorie di veicoli è menzionata anche quella di "macchine agricole" che comprende tutte le macchine agricole soggette a immatricolazione e quindi assicurazione obbligatoria; facciamo notare comunque che i trattori agricoli sono la categoria di macchina agricola maggiormente in circolazione.

Dai dati riportati (Tabella 5) nel 2010, solo il 2,52% delle macchine agricole del campione ha causato un incidente stradale, mentre il massimo si ha nel 2004 con il 3,24%, segnaliamo però che nel 2004 le macchine agricole considerate erano solo 614.556 invece delle 1.111.447 del 2010.

Confrontando i dati riportati nelle tabelle ANIA con quelli di altre tipologia di veicolo si evince che le macchine agricole sono la categoria con minor incidenti stradali rispetto al numero delle circolanti.

Tabella 5 - Incidenti con macchine agricole (Elaborazione dati ANIA)

Anno	Totale del campione (%)	Macchine agricole esaminate	Sinistri dichiarati (n.)	Frequenza sinistri (%)	Costo medio pagato (€/sinistro)
2004	70,1	614.566	19.900	3,24	1.289
2005	72,2	637.855	20.389	3,20	1.359
2006	78,0	696.412	21.859	3,14	1.378
2007	65,3	932.149	23.364	2,51	1.514
2008	82,5	1.085.926	29.061	2,68	1.602
2009	86,6	1.137.769	31.615	2,78	1.660
2010	86,1	1.111.447	28.046	2,52	2.716

Partecipazione e organizzazione eventi

Gli esperti di ENAMA, sempre attivi nei vari gruppi di lavoro normativi nazionali e internazionali hanno anche organizzato varie riunioni di lavoro in merito al progetto INTRAC.

I più importanti sono sicuramente i convegni presso il CRA-ING di Treviglio (BG). Nello specifico evidenziamo due eventi:

- Convegno internazionale "European off-highway vehicle seminar" (giugno 2013);
- "17th Biennial test Engineers' Conference" dei Paesi Membri OCSE (ottobre 2013).

Durante il Convegno "European off-highway vehicle seminar" si è vista la partecipazione di tutti i responsabili del progetto INTRAC nonché molti ospiti di aziende costruttrici interessate allo studio del miglioramento dell'ergonomia degli operatori dei trattori agricoli, con particolare riferimento alla mitigazione degli effetti delle vibrazioni.

Di particolare importanza è stata anche la divulgazione del progetto INTRAC tra i partecipanti della "17th Biennial test Engineers' Conference" organizzata dall'OCSE, che ha visto la partecipazione di oltre 50 tecnici provenienti da tutte le parti del mondo (Figura 2).



Figura 2 - Incontro durante la "17th Biennial test Engineers' Conference" (CRA-ING Treviglio).

L'argomento esposto ha interessato molto i partecipanti al meeting che attivamente hanno contribuito ai lavori con le loro esperienze, idee e studi in merito.

Conclusioni

I lavoratori in agricoltura sono esposti continuamente ai rischi connessi dal loro difficile e diversificato lavoro. Negli ultimi anni l'interessamento delle istituzioni nei con-

fronti degli operatori del settore si è intensificato e lo studio sulla qualità e sicurezza degli stessi sta ottenendo ottimi risultati.

La situazione economica italiana non aiuta una facile modernizzazione del parco macchine circolante; poche immatricolazioni del nuovo ed età media delle macchine circolanti oltre i 20 anni.

Le molte normative e le forti campagne di sensibilizzazione sulla problematica degli infortuni sul lavoro hanno diminuito di molto gli eventi infortunistici degli operatori del settore.

I risultati ottenuti sono incoraggianti e ciò dimostra l'importanza di proseguire con questo tipo di studi e ricerche.

Sitografia

www.ania.it

www.enama.it

www.eur-lex.europa.eu

www.federunacoma.it

www.inail.it

www.iso.org

www.istat.it

Capitolo 2

Studio e sviluppo di dispositivi per la riduzione del rischio derivante dall'esposizione dell'operatore ad agenti fisici (rumore e vibrazioni)

Daniele Pochi ⁽¹⁾, *Roberto Fanigliulo* ⁽¹⁾, *Laura Fornaciari* ⁽¹⁾, *Renato Grilli* ⁽¹⁾, *Gennaro Vassalini* ⁽¹⁾, *Marcello Biocca* ⁽¹⁾, *Lindoro Del Duca* ⁽²⁾, *Carlo Volpi* ⁽³⁾, *Pietro Natalletti* ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ CRA –ING Monterotondo (RM)

⁽²⁾ Ditta Active, Roma

⁽³⁾ Ditta Carlo Volpi, Monterotondo (RM)

⁽⁴⁾ INAIL, Monteporzio Catone (RM)

Sommario

Il presente studio illustra i risultati del Work Package (WP) 1 del progetto INTRAC che aveva come obiettivo lo studio di sistemi di controllo innovativi di rumore e vibrazioni. L'esposizione dei lavoratori agricoli a rumore e vibrazione costituisce un rischio per la loro salute. Per tale motivo esistono delle normative molto stringenti nelle quali, ai fini della riduzione del rischio, sono indicati i parametri da misurare, i metodi per la loro misura e i limiti che non devono essere superati. D'altro canto, la tecnologia attuale mette a disposizione soluzioni tecniche e materiali molto più efficaci, rispetto al passato, nel contenimento dei livelli di emissione sonora e di vibrazioni. Con riferimento ai trattori agricoli, le soluzioni adottate, quasi sempre di tipo passivo, consentono di affermare che le macchine attuali sono più "sicure" e confortevoli di quelle prodotte alcuni anni fa. A nostro parere ancora molto può essere fatto per migliorare ulteriormente la qualità del lavoro del conducente di trattori agricoli, sia dal punto di vista della tutela della salute che del comfort. Con tale spirito è stato intrapreso lo studio di sistemi di controllo attivo di rumore e vibrazioni, nella certezza che la loro realizzazione possa contribuire a un salto di qualità. Lo studio ha visto la collaborazione di vari soggetti, pubblici e privati ed ha prodotto interessanti risultati. Riguardo al controllo attivo delle vibrazioni, sono stati individuati tutti gli elementi necessari alla messa a punto di un prototipo di prossima realizzazione. Per quanto concerne il controllo attivo del rumore all'orecchio del conducente, lo studio ha portato alla realizzazione di un prototipo funzionante in grado di migliorare le condizioni di sicurezza e soprattutto di comfort dell'operatore, offrendo anche interessanti spunti di studio sugli effetti dell'esposizione prolungata dell'operatore alle basse frequenze.

Introduzione

Il D.Lgs. 81/08 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, abrogando integralmente il D.Lgs. 626/94, ha riorganizzato il precedente assetto normativo. Per quanto riguarda gli agenti fisici, il Titolo VIII del decreto tratta in modo particolare il rumore e le vibrazioni, abrogando rispettivamente il D.Lgs. 195/06 e il D.Lgs. 187/05. Nelle "Disposizioni generali" si afferma che la sorveglianza sanitaria è effettuata sulla base della valutazione del rischio. Sia per il rumore che per le vibrazioni sono indicati i valori di azione e i valori limite (non superabili) in base ai quali vengono

stabilite le modalità d'intervento e la periodicità dei controlli sanitari sui lavoratori esposti. Oltre alle indicazioni del D.Lgs. 81/08, il cui scopo è la valutazione di situazioni operative potenzialmente dannose per la salute, la ricerca può contribuire significativamente attraverso lo sviluppo di sistemi innovativi in grado di ridurre i livelli di rumore e vibrazioni generate cui gli operatori si trovano esposti, con risvolti positivi anche in termini di comfort. In tale contesto e con riferimento ai trattori agricoli, l'attività del WP1 è stata rivolta all'identificazione di soluzioni innovative, basate sul controllo attivo di rumore e vibrazioni, capaci di ridurre i livelli di esposizione del guidatore di trattori e macchine agricole semoventi. L'attività di ricerca ha previsto la caratterizzazione delle condizioni di lavoro dal punto di vista dei livelli di esposizione, la valutazione delle possibili soluzioni tecniche ritenute efficaci nella loro riduzione e, infine, nei limiti di budget del progetto, la realizzazione, a scopo dimostrativo, di prototipi funzionanti.

Parte tecnica

In generale, il WP1 intende dare un contributo "attivo" alla riduzione dell'esposizione del guidatore di trattori agricole al rumore e alle vibrazioni, proponendo delle soluzioni tecniche innovative per il settore, basate su sistemi di controllo "attivo". Una volta dimostrata l'efficacia di tali sistemi, la loro introduzione sulle macchine potrà avere positive ricadute in termini di salvaguardia della salute e di comfort dell'operatore.

L'esecuzione del programma ha visto il coinvolgimento di personale e mezzi facente capo ai seguenti soggetti:

- CRA-ING, Monterotondo: ha fornito mezzi, strutture e strumentazioni; ha effettuato la caratterizzazione dinamica e cinematica del sistema ammortizzante di un sedile e le misure di vibrazioni e rumore in condizioni operative.
- Ditta ACTIVE, Roma: nell'ambito di una convenzione stipulata con il CRA-ING, ha sviluppato e messo a disposizione un sistema DSP (Digital Signal Processing) adattandolo alle specifiche situazioni operative, per la riduzione di vibrazioni e rumore.
- Ditta Volpi, Monterotondo, consulente del CRA-ING per la gestione dei sistemi elettronici e informatici e delle strumentazioni: ha curato la messa a punto dei componenti elettroniche e informatiche in relazione allo scopo dell'attività ed ha partecipato alla caratterizzazione dinamica e cinematica del sistema ammortizzante di un sedile per il dimensionamento dei componenti elettronici e acustici da interfacciare con il sistema DSP.
- INAIL, Centro Ricerche di Monteporzio Catone: dato il comune interesse su tematiche e obiettivi del WP1, sono stati effettuati test condividendo materiali, metodi e risultati, in una collaborazione paritetica a titolo non oneroso. Successivamente, in seguito ai buoni risultati ottenuti sugli stessi temi, INAIL ha chiamato il CRA-ING a collaborare a un proprio progetto di ricerca (CIV, Ministero della Salute), in qualità di Unità Operativa. Entrambi i progetti si sono potuti sviluppare in modo sinergico e più organico.

Data la sua complessità, il WP1 è stato diviso in due linee di azione: WP.1.1, riguardante le vibrazioni e WP.1.2 riguardante il rumore. Esse saranno illustrate separatamente.

WP.1.1 – Vibrazioni

In primo luogo è stato effettuato uno studio per la caratterizzazione dell'ambiente di lavoro dal punto di vista delle vibrazioni indotte sull'operatore alla guida di trattori agricoli (e macchine semoventi in genere). In base a tale studio e ai risultati di alcuni specifici test, sono state identificate le caratteristiche delle sollecitazioni agenti sul sedile e definite le caratteristiche di un prototipo di dispositivo a controllo attivo per la riduzione del livello di vibrazioni al corpo intero del conducente.

Un dispositivo a controllo attivo delle vibrazioni agisce generando una vibrazione teoricamente uguale e contraria a quella determinata ad esempio dall'irregolarità del terreno, annullandone o minimizzandone gli effetti.

Al termine dell'attività di progetto è stato identificato il dispositivo ritenuto più efficace per la loro riduzione ed è stato effettuato uno studio relativo alla sua applicazione al sedile stesso.

Materiali

L'attività è stata svolta utilizzando un sedile dotato di un sistema di ammortizzatore meccanico a molle (Grammer, mod. Compacto XXM; Figura 1). I rilievi hanno riguardato sia il sedile montato su trattore (Landini Globus 80), sia lo stesso, smontato e posizionato su banco prova.



Figura 1 – Il sedile oggetto dell'attività di ricerca.

Per il rilievo dei livelli di vibrazioni al corpo intero secondo la norma internazionale UNI ISO 2631-1:2008, è stata impiegata la seguente catena strumentale (Figura 2):

- sound book, acquisitore/elaboratore di segnale a otto canali con specifico software di elaborazione “Samurai”;
- accelerometro triassiale piezoelettrico da sedile Brüel & Kjær, mod. 4322;
- calibratore per accelerometri PCB, mod. 394C06.



Figura 2 – A sinistra: Soundbook-acquisitore/elaboratore di segnale ad otto canali con speciale software “Samurai”; a destra: accelerometro triassiale da sedile per il rilievo delle accelerazioni al corpo intero.

L'accelerometro triassiale da sedile, per il rilievo delle vibrazioni al corpo intero dell'operatore, è stato posizionato orientando gli assi secondo il seguente sistema (Figura 3):

- asse X longitudinale (dorso – petto);
- asse Y trasversale (lato destro – lato sinistro);
- asse Z verticale (bacino – testa).

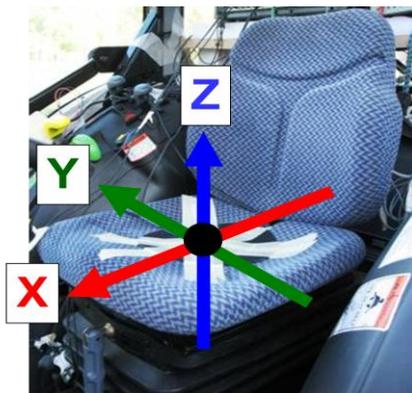


Figura 3 – Sistema di coordinate definite dalla UNI ISO 2631-1:2008.

I valori delle accelerazioni (a_{wx} , a_{wy} ed a_{wz}), sono rilevati simultaneamente e calcolati nella gamma di frequenza compresa tra 0,5 Hz e 80 Hz.

In base alla citata norma ISO, i rilievi così effettuati consentono il calcolo del livello di esposizione A(8) e il tempo massimo di utilizzo del mezzo (trattore) durante la giornata, tenendo conto che il valore da normalizzare a 8 ore è il più alto riscontrato sui tre assi e che i valori relativi agli assi orizzontali (x e y) vanno moltiplicati per il fattore 1,4.

Ai fini del presente studio, ulteriori informazioni necessarie alla caratterizzazione delle sollecitazioni sul sedile, sono state ottenute utilizzando i seguenti strumenti e attrezzature:

- trasduttore di posizione a filo di tipo potenziometrico CELESCO, mod. VT 2101-0025-111, per il rilievo della posizione e delle oscillazioni effettuate dal sedile rispetto al pianale della cabina (Figura 4);
- due accelerometri triassiali di tipo estensimetrico (frequenza di acquisizione: 500 Hz; intervallo di misura: +/- 6 g; sensibilità: 206 mV g⁻¹), implementati di scheda di alimentazione e di amplificatore di segnale, per la misura delle accelerazioni istantanee (modulo e verso) al sedile e al pianale (Figura 4);



Figura 4 – A sinistra: trasduttore di posizione a filo; a destra: accelerometri estensimetrici applicati al sedile e al pianale del trattore

- sistema di acquisizione dati per il rilievo contemporaneo di posizione e accelerazione;
- sistema di masse certificate (sistema di gestione per la qualità CRA-ING conforme alla norma EN ISO/IEC 17025:2005) da 5 kg, 10 kg e 20 kg per lo studio della risposta dell'ammortizzatore del sedile alle variazioni di massa e forza sul sedile.

Infine, il Centro Ricerche INAIL ha messo a disposizione la “piattaforma vibrante”, azionata idraulicamente e a comando elettronico, con cui è possibile impostare le sollecitazioni (ampiezza, frequenza, energia) cui sottoporre il dispositivo da provare. La piattaforma vibrante è stata utilizzata in alcuni test che hanno contribuito alla definizione delle caratteristiche di funzionamento del sistema ammortizzante del sedile.

Metodi

Caratterizzazione dell'ambiente operativo dal punto di vista delle vibrazioni

L'ambiente operativo è costituito dal sedile di guida del trattore. Il sedile funge da terminale che trasmette al corpo intero del guidatore le sollecitazioni generate dalle irregolarità nel terreno che attraversano il sistema elastico di cui il trattore è dotato: pneumatici, silent block di connessione fra telaio e cabina di guida, ammortizzatore del sedile, eventuali sospensioni aggiuntive (poco frequenti). Le sollecitazioni sono forte-

mente influenzate da fattori come la superficie su cui il trattore si muove, tipo e pressione di gonfiaggio degli pneumatici, tipo di operazione svolta (trasporto stradale, lavorazioni in campo). Ai fini della ricerca, si è puntata l'attenzione sulle operazioni in campo, che sono da considerare quelle probabilmente più gravose in termini di sollecitazioni al corpo del guidatore, derivando dalla combinazione di fattori come le asperità del terreno (es. elevata zollosità superficiale conseguente ad un'aratura), la pendenza (che enfatizza le componenti orizzontali delle vibrazioni). Il CRA-ING svolge da molti anni rilievi di vibrazioni su trattori agricoli in condizioni operative e dispone di un archivio delle prove effettuate in campo durante l'esecuzione di diverse operazioni. La consultazione di tale archivio ha consentito di individuare delle linee comuni di comportamento del sistema elastico che fa capo al sedile di guida in risposta alle sollecitazioni derivanti dall'interazione trattore-terreno. Nei risultati esposti sono riportati alcuni diagrammi esplicativi del comportamento del sistema ammortizzante del sedile durante le operazioni in campo. Parallelamente, nell'ambito della ricordata collaborazione con il centro ricerche INAIL di Monteporzio Catone (RM), il sedile oggetto di studio è stato sottoposto a dei test sulla piattaforma vibrante ad azionamento idraulico sviluppato dall'INAIL. In tali test, il sedile è stato fissato alla piattaforma e su di esso è stato collocato un manichino antropomorfo per test biometrici avente una massa di 75 kg. Il sistema di controllo della piattaforma vibrante è stato regolato per la generazione di sollecitazioni a spettro piatto (energia costante su tutto lo spettro di frequenze). I test sono stati effettuati con diverse regolazioni dell'altezza e del sistema di molle del sedile. Due accelerometri triassiali collocati rispettivamente al centro della seduta e sulla piattaforma hanno fornito i valori delle accelerazioni istantanee. I dati sono stati elaborati in frequenza. Sono stati riportati, a titolo di esempio, alcuni diagrammi dell'andamento delle accelerazioni al sedile e al pianale, limitatamente all'intervallo fra 0.1 e 10 Hz.

Determinazione dei requisiti dell'attuatore per il sistema a controllo attivo

L'attuatore è il dispositivo che ha il compito di impartire al sedile delle sollecitazioni tali da opporsi a quelle derivanti dal normale svolgimento dell'attività. Ad esempio, la sollecitazione subita da un sedile durante il superamento di un ostacolo può essere espressa in termini di accelerazione, di posizione, di velocità. ecc. In generale, l'andamento di ciascuno di tali parametri, nel tempo immediatamente successivo all'evento, è descritto da una curva sinusoidale avente ampiezza decrescente. L'attuatore dovrebbe essere in grado di impartire al sistema una sollecitazione uguale e contraria (controfase) a quella naturale, rilevata dal sistema di controllo, in modo tale che sia minima la risultante fra evento e reazione del sistema attivo. In tale contesto il principale requisito del sistema di controllo attivo è la velocità di rilievo ed elaborazione dei dati misurati e di generazione del contro-segnale che deve essere tradotto in atto fisico dall'attuatore. La velocità di intervento di questo ultimo risulta fondamentale per avere una contro-sinusoidale efficace. Le altre caratteristiche dell'attuatore sono la capacità di eseguire i movimenti richiesti tenendo conto delle condizioni di lavoro. Esso deve avere quindi una sufficiente ampiezza di intervento (corsa); deve esercitare una forza sufficiente a muovere la massa del sedile e del conducente; deve intervenire con valori di accelerazione e velocità paragonabili a quelli misurati durante le sollecitazioni. Inoltre, in relazione alla fase di studio e realizzazione del prototipo, esso deve essere gestibile dal punto di vista degli ingombri in cabina di guida e deve poter essere alimentato dal

sistema elettrico del trattore. Nelle fasi successive si potrà pensare all'ingegnerizzazione del sistema e all'ottimizzazione degli spazi. Per la determinazione dei parametri appena citati (corsa, forza, velocità e accelerazione) sono stati condotti alcuni test con il sedile. In una prima fase il sedile è stato smontato dal trattore e sottoposto a prove al banco per la caratterizzazione del sistema ammortizzante a molle di cui è dotato, dal punto di vista meccanico (dinamico-cinematico) e delle risposte alle sollecitazioni vibrazionali. Successivamente il sedile è stato rimontato sul trattore e sottoposto ad una serie di prove consistenti nel percorrere un tracciato piano con ostacoli di caratteristiche note. L'attività si è articolata come di seguito descritto.

Test al banco

Il sedile è stato provato effettuando l'ottimale regolazione del carico e della rigidità del sistema ammortizzante in dotazione in relazione alla massa del guidatore individuato (90 kg, di cui 70 kg. gravanti sulla seduta). In tal modo, in assenza di carico la seduta raggiungeva la posizione più elevata rispetto alla base di appoggio. L'aggiunta di 70 kg sulla seduta portava quest'ultima in posizione intermedia della corsa totale (corrispondente allo 0 intorno a cui si verificano le oscillazioni determinate dalle sollecitazioni esterne). Ogni ulteriore aggiunta di massa determinava l'abbassamento della seduta fino alla sua minima altezza rispetto alla base. Il sedile era sensibilizzato con il trasduttore a filo descritto in precedenza. Al sedile totalmente scarico, sono state applicate masse progressivamente crescenti, misurando le variazioni di posizione (distanza dalla base, angoli assunti dal parallelogramma del sistema di molle), come schematizzato in Figura 5, allo scopo di misurare la corsa massima della seduta e, soprattutto, di individuare la relazione fra la forza (peso) agente sul sedile e la posizione da esso assunto lungo l'asse z (verticale).



Figura 5 - Prove al banco per la determinazione delle caratteristiche geometriche e dinamiche del sistema ammortizzante del sedile.

Test su tracciato di prova

Il sedile è stato rimontato sul trattore mantenendo la regolazione sopra indicata. Per l'analisi in frequenza delle vibrazioni sono stati utilizzati: un accelerometro triassiale piezoelettrico sulla seduta e un altro sotto la seduta sul pianale. Per l'acquisizione dei dati dinamici e di posizione sono stati inseriti anche i due accelerometri estensimetrici e il trasduttore a filo di Figura 4. Il test consisteva nel percorrere a varie velocità un tracciato in cui erano posizionati due risalti costituiti da barre di acciaio a sezione rettangolare (Figura 6), le cui dimensioni erano rispettivamente: altezza: 50 mm e 30 mm; lunghezza: 100 mm e 60 mm.



Figura 6 - Prove su tracciato a risalti per la caratterizzazione della risposta del sistema ammortizzante del sedile alle vibrazioni indotte dal passaggio sui risalti stessi.

Il test si basava su tre giri del tracciato rilevando i dati necessari a mettere in relazione accelerazione e posizione. Le velocità di avanzamento erano di 4 e 8 km/h.

Risultati

Caratterizzazione dell'ambiente operativo

Riguardo alle vibrazioni in condizioni operative, sono stati analizzati i dati dei rilievi di vibrazioni effettuati negli scorsi anni nel corso di lavorazioni del terreno per individuare l'intervallo di frequenza sensibile ai fini dello studio. Le analisi evidenziano che le frequenze critiche per l'intervento del sistema ammortizzante del sedile sono fra 0,5 e 6 Hz. Per frequenze superiori l'ammortizzatore opera un'efficace riduzione delle accelerazioni. La Figura 7 mostra due esempi rappresentativi dei risultati di analisi in frequenza delle vibrazioni rilevate.

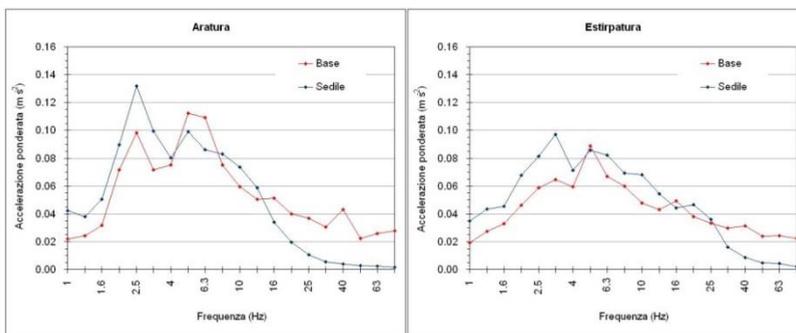


Figura 7 - Alcuni risultati delle prove di misurazione in campo delle vibrazioni al sedile nel corso delle operazioni di aratura ed estirpatura.

Per quanto riguarda i test alla piattaforma vibrante, il sedile, in varie regolazioni, è stato sottoposto ad una sollecitazione a spettro piatto (secondo le normative ISO per l'omologazione), riportando l'analisi in frequenza da 0,5 a 10 Hz.

Un esempio dei risultati è riportato in Figura 8. Tutto ciò conferma quanto indicato al punto precedente circa l'inefficacia dell'ammortizzatore del sedile alle basse frequenze

(< 6 Hz). In tale intervallo si dovrà quindi concentrare l'attenzione relativamente allo sviluppo del sistema attivo.

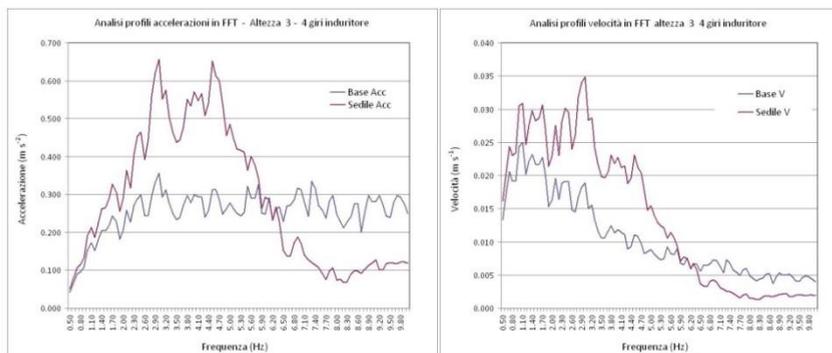


Figura 8 - Alcuni risultati delle prove del sedile alla piattaforma vibrante del Centro Ricerche INAIL. Segnale di test spettro piatto 0,5-10 Hz ampiezza 16 mm.

Determinazione dei requisiti di un attuatore per il sistema a controllo attivo

Test al banco

L'ammortizzatore meccanico del sedile era regolato per supportare una massa di 70 kg (operatore). Il sedile, scaricato completamente raggiungeva la massima altezza (250 mm). In Tabella 1 e Figura 9 sono riportati dati e risultati del test.

Tabella 1 – Dati di regolazione del sedile

A	B	C	D	E	F	G
Posizione (altezza)	Rigidezza molle (n. giri)	Massa (kg)	Massa totale (kg)	Lunghezza filo (mm)	Altezza seduta pianale (mm)	E/F
I	27	0	0	120,0	120,0	1,0
I	27	20	20	117,8	117,8	1,0
I	27	40	40	111,7	111,7	1,0
I	27	50	50	97,5	97,5	1,0
I	27	60	60	94,3	94,3	1,0
I	27	70	70	68,3	68,3	1,0
I	27	80	80	59,4	59,4	1,0
I	27	85	85	43,6	43,6	1,0
I	27	90	90	31,7	31,7	1,0
I	27	95	95	15,4	15,4	1,0
I	27	100	100	11,9	11,9	1,0

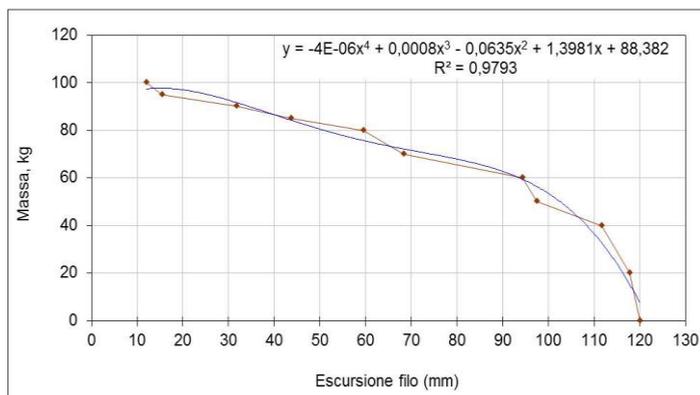


Figura 9 – Risultati delle prove con masse note sul sedile e misure delle variazioni di posizione rispetto al pianale. La regressione è calcolata sull’escursione del filo del trasduttore.

Sono state aggiunte masse fino ad un massimo di 100 kg, in corrispondenza dei quali l’altezza risultava pari a 142 mm. La corsa massima risulta dalla differenza 250 – 142 = 108 mm. In corrispondenza dei 70 kg dell’operatore, il sedile si posiziona a circa metà della corsa totale. Supponendo che la relazione fra massa e posizione sia biunivoca, il diagramma in Figura 9 mostra l’andamento della massa in funzione della posizione e la funzione di regressione risultante (che sarà tipica della regolazione adottata). La massa è legata alla forza agente sul sedile ed oltre alla forza peso (costante) essa è accelerata da forze variabili determinate da shock e vibrazioni che si sommano (settorialmente) al peso. Detta funzione, conoscendo la posizione del sedile rispetto al pianale, istante per istante, consente di calcolare la forza totale che agisce sul sedile. Il peso del conducente rappresenta una quota fissa di tale forza, contrastata dal sistema ammortizzante a molle del sedile. La differenza fra la forza totale e il peso fornisce, istante per istante, la forza che determina le oscillazioni del sedile intorno alla posizione di equilibrio. Il valore massimo di tale di forza è quello che l’attuatore deve essere in grado di esercitare per riuscire ad opporsi efficacemente alle sollecitazioni del sedile. La suddetta funzione di regressione è stata utilizzata per calcolare la forza verticale agente sul sedile durante le prove su tracciato descritte di seguito

Test su tracciato di prova

I risultati del test sul tracciato di prova sono riportati nelle Figure da 10 a 13, con riferimento al solo asse z, rispettivamente per le velocità di 4 e 8 km/h. La prima osservazione è che alla velocità maggiore si hanno oscillazioni più ampie del sedile, con valori di accelerazione maggiori. Discorso analogo vale per l’ostacolo di 50 mm rispetto a quello di 30 mm. Dal punto di vista delle caratteristiche delle vibrazioni misurate, l’analisi in frequenza conferma quanto indicato in precedenza: in tutte le condizioni (velocità e altezza dell’ostacolo) l’intervallo di frequenza maggiormente interessato è fra 0.5 e 10 Hz, con picchi massimi intorno a 5 Hz. L’andamento del vettore somma risultante nel corso dell’intero test mostra valori massimi di circa 1.9 m s⁻² e 1 m s⁻² rispettivamente per ostacolo alto e basso. L’andamento si ripete in modo costante ad ogni passaggio. Ulteriori informazioni sono state fornite dagli altri sensori (Figure da 10 a 13). In particolare, il trasduttore a filo ha rilevato la posizione del sedile rispetto al

pianale della cabina. Le serie di valori sono state utilizzate per calcolare la forza corrispondente agente sul sedile tramite la funzione riportata in Figura 9, ottenendo l'andamento della forza totale e della forza al netto del peso del conducente (Figure 11 e 13, diagrammi in basso). Sulla base della posizione assunta nel tempo dal sedile, è stato anche proposto un calcolo di accelerazione e velocità dello stesso nel corso della prova (Figure 11 e 13, diagrammi centrali) allo scopo di osservare, oltre al modulo di tali grandezze, anche il verso di azione, eliminando la mediazione del sistema di elaborazione finalizzato all'analisi in frequenza. Quanto appena esposto è riassunto in Tabella 2.

Tabella 2 – Sintesi dei risultati ottenuti nelle prove al banco e su tracciato con ostacoli.

Parametro	Forza attuatore (daN)		Velocità sedile (m s ⁻¹)		Accel. sedile (m s ⁻²)		Posizione sedile (mm)	
	4 km/h	8 km/h	4 km/h	8 km/h	4 km/h	8 km/h	4 km/h	8 km/h
massimo	9.02	21.01	0.37	0.62	7.45	14.38	40.15	45.61
minimo	-23.31	-42.25	-0.43	-0.96	-10.51	-21.32	-17.54	-39.70
Max*	23.31	42.25	0.43	0.96	10.51	21.32	40.15	45.61

*valore assoluto

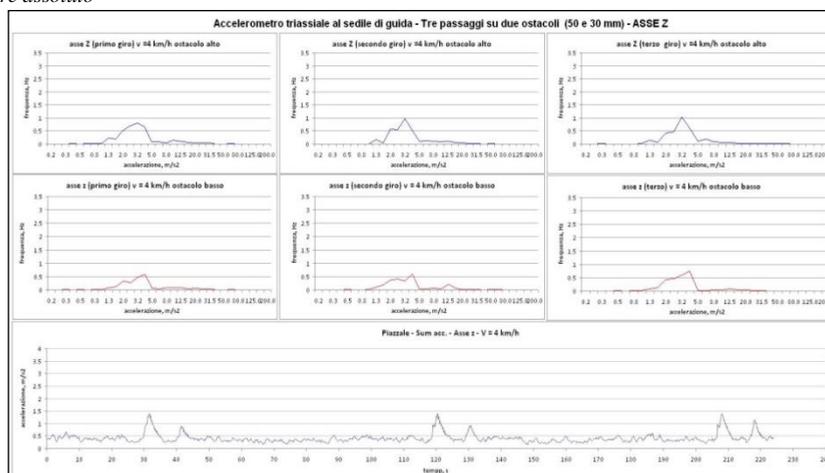


Figura 10 - Prove sul tracciato con due ostacoli, a 4 km/h. I sei diagrammi in alto mostrano l'analisi in frequenza delle vibrazioni misurate in corrispondenza di ciascun passaggio sui due ostacoli. Il diagramma in basso mostra l'andamento del vettore somma delle accelerazioni nel corso di un intero test (tre giri del tracciato).

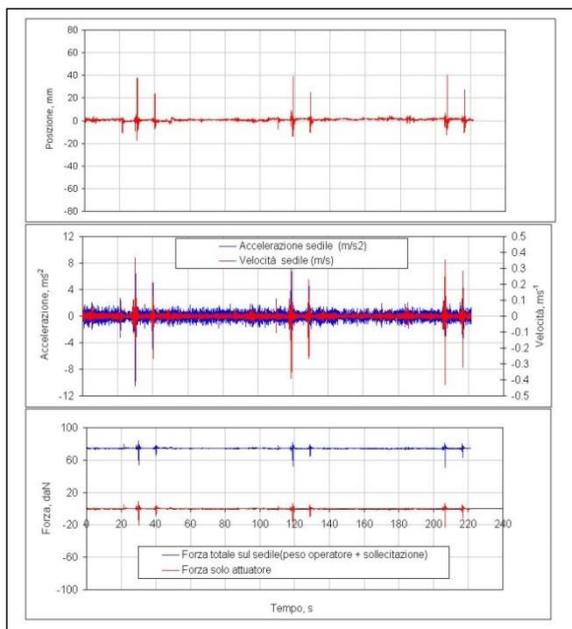


Figura 11 - Prove sul tracciato con due ostacoli, a 4 km/h. Nei tre diagrammi sono riportati gli andamenti di: posizione del sedile (in alto); accelerazione, in rosso, e velocità, in blu, del sedile (al centro); forza che determina le oscillazioni (in basso) (in basso); forza che determina le oscillazioni (in basso); forza che determina le oscillazioni (in basso), calcolata in funzione della posizione assunta istante per istante secondo la relazione riportata in fig. 9.

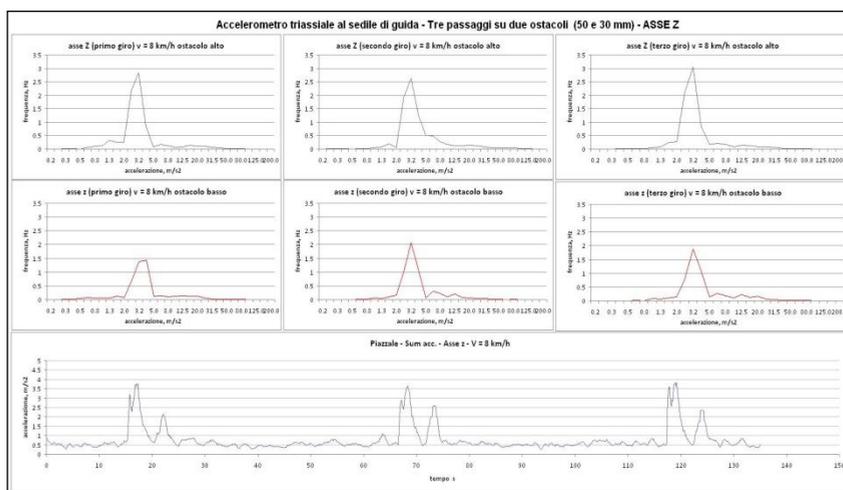


Figura 12 - Prove sul tracciato con due ostacoli, a 8 km/h. I sei diagrammi in alto mostrano l'analisi in frequenza delle vibrazioni misurate in corrispondenza di ciascun passaggio sui due ostacoli. Il diagramma in basso mostra l'andamento del vettore somma delle accelerazioni nel corso di un intero test (tre giri del tracciato).

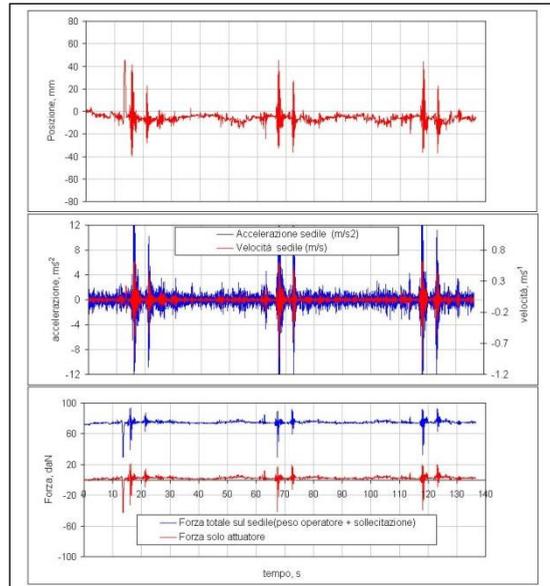


Figura 13 - Prove sul tracciato con due ostacoli, a 8 km/h. Nei tre diagrammi sono riportati gli andamenti di: posizione del sedile (in alto); accelerazione, in rosso, e velocità, in blu, del sedile (al centro); forza che determina le oscillazioni (in basso), calcolata in funzione della posizione assunta istante per istante secondo la relazione riportata in fig. 9.

Le sollecitazioni determinate dagli ostacoli sul tracciato sono da considerarsi piuttosto severe, soprattutto in relazione alle velocità adottate. L'ostacolo più alto alla velocità maggiore ha dato i valori più elevati in termini di variazione della posizione, di velocità, accelerazione e forza.

Infine, nei diagrammi di Figura 14 (sopra e sotto) si riportano i risultati delle misurazioni effettuate con i due accelerometri estensimetrici e con il trasduttore a filo durante lo scavalco del solo ostacolo di 30 mm a 4 km/h.

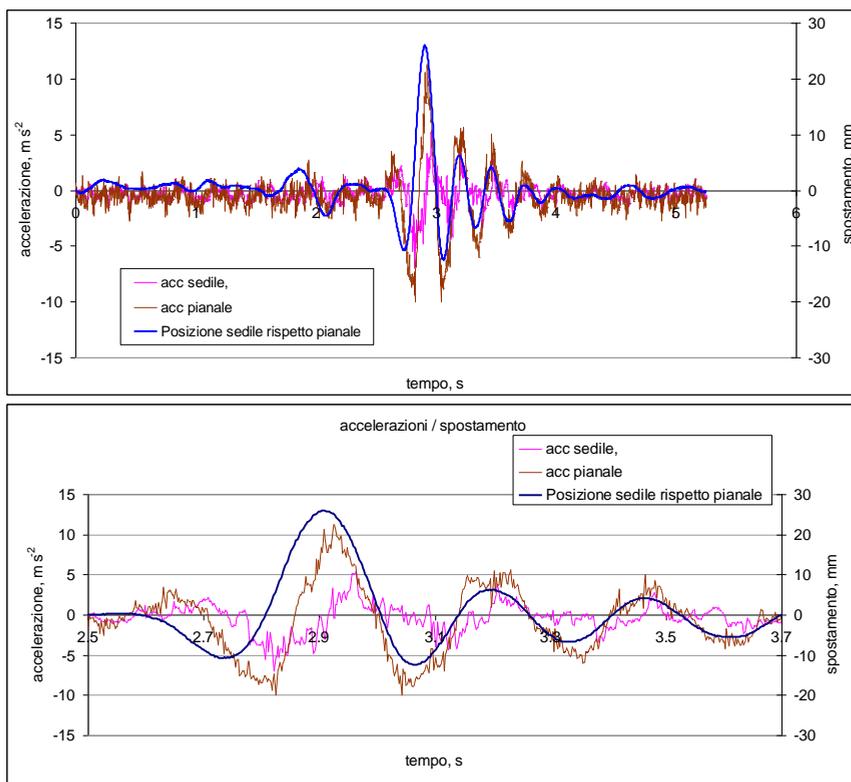


Figura 14 - Sopra: valori misurati di accelerazione e spostamento su ostacolo basso (30 mm) a 4 km/h. Sotto: dettaglio dell'andamento.

Osservando la Figura 14, si nota come le curve di accelerazione sono molto composite: oltre all'oscillazione principale (di bassa frequenza, 3 Hz circa) dovuta all'ostacolo, sono evidenti delle oscillazioni di minore ampiezza e di frequenza più alta (circa 150 Hz). Osservando l'andamento dell'oscillazione principale si vede che al sedile essa è generalmente ridotta rispetto al pianale. Tutto ciò sembra in contrasto con i dati rilevati con gli accelerometri piezoelettrici e analizzati dal sistema di elaborazione Samurai. Tale aspetto probabilmente è influenzato dal tipo di misura, concettualmente differenti nei due casi, e richiede di essere approfondito. Nel caso in esame, poiché le oscillazioni di alta frequenza disturbano la raccolta di informazioni utili, i valori di accelerazione (medie progressive di 16 valori) sono stati mediati per eliminare le frequenze elevate. Considerando l'intervallo di acquisizione di 0.002 s, 16 acquisizioni corrispondono a 0.032 s, corrispondenti ad una frequenza $f = 1/0.032 = 31$ Hz. In tal modo sono "tagliate" le frequenze superiori a 31 Hz. Si sono ottenute le curve sotto riportate che seguono fedelmente l'andamento generale (Figura 15).

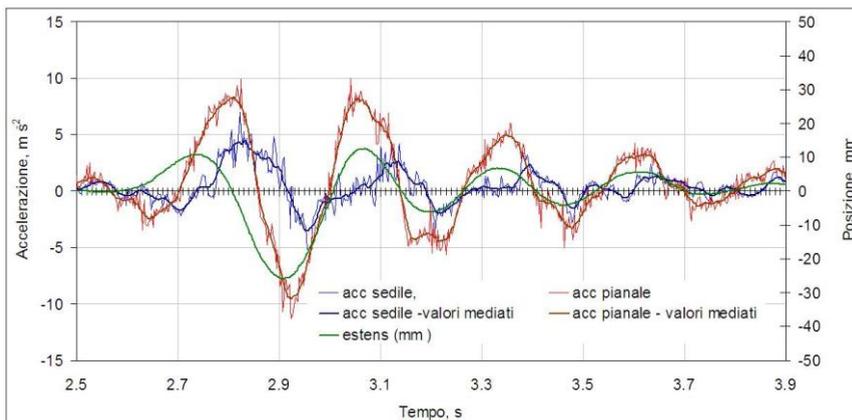


Figura 15 - Andamento delle curve dei dati rilevati e dei dati mediati delle accelerazioni al pianale e al sedile. Sono stati eliminati tutti i piccoli picchi corrispondenti alle alte frequenze. Aumentando ulteriormente il numero di valori che concorrono alle medie, le curve diventano sempre più regolari.

Dalle curve di Figura 15 si possono trarre ulteriori indicazioni come quelle riportate in Figura 16, dove sono indicate le differenze di tempo corrispondenti allo sfasamento fra le curve al pianale e al sedile.

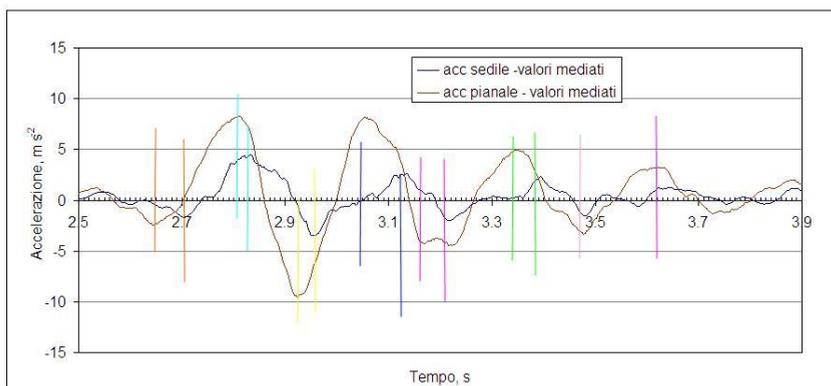


Figura 16 – Dettaglio dei valori mediati delle accelerazioni al sedile e al pianale. Le coppie di linee verticali contrassegnano gli scostamenti fra i picchi al pianale e al sedile.

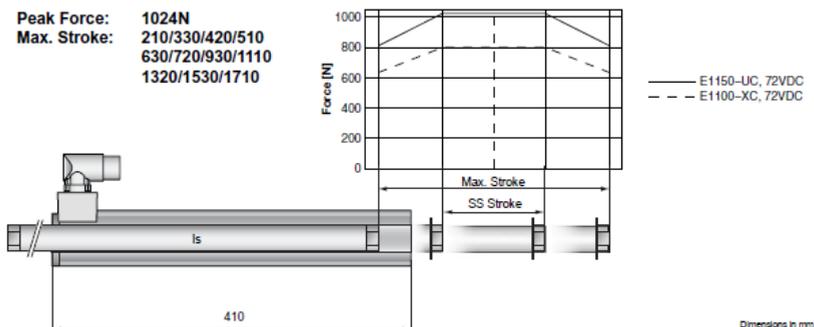
Le principali informazioni fornite dall'osservazione delle Figure 14-16 sono le seguenti:

- la curva dell'accelerazione mediata al sedile risulta molto più irregolare di quella al pianale;
- le frequenze dell'oscillazione principale sulle due curve sono pari a 3.3 Hz, a conferma di quanto indicato dai dati delle prove di campo e alla piattaforma vibrante;
- C'è uno sfasamento fra la curva al pianale e quella al sedile. Il tempo che intercorre fra i singoli picchi non sembra costante, ma varia da 0.015 s a 0.045 s. Probabil-

mente tale irregolarità è dovuta alla difficoltà di “leggere” le curve, data la loro irregolarità. In media si può considerare uno scostamento di 0.030 s. Nella determinazione delle caratteristiche dell’attuatore si deve quindi tener conto di tali condizioni, ricordando anche quanto precedentemente indicato in Tabella 2 riguardo alla forza massima rilevata di 42,45 daN, alla velocità di azione massima pari a circa 1 ms^{-2} e alla corsa dell’attuatore che deve garantire un’escursione di $\pm 55 \text{ mm}$. Le soluzioni percorribili nella scelta del tipo di attuatore sono di tipo idraulico, pneumatico, elettromagnetico. In base ai risultati sopra esposti l’attuatore elettromagnetico sembra in grado di fornire le migliori risposte. In seguito ad una ricerca di mercato è stato individuato un attuatore in possesso dei requisiti richiesti, prodotto dalla LINMOT, che sarà utilizzato nella realizzazione del prototipo di sistema a controllo attivo. Esso è stato acquisito nell’ambito della citata collaborazione fra CRA-ING ed INAIL. L’attuatore è visibile in Figura 17 e le sue caratteristiche principali sono riportate in Figura 18.



Figura 17 – Attuatore elettromagnetico con modulo di controllo.



Motor Specification

P01-		F- Wicklung										
		48x360F										
Stroke Max.	mm (in)	210	330	420	510	630	720	930	1110	1320	1530	1710
Stroke SS	mm (in)	60	180	270	360	480	570	780	980	1170	1380	1560
Slider Diameter	mm (in)	28 (1.10)										
Slider Length	mm	500	620	710	800	920	1010	1220	1400	1610	1820	2000
Slider Mass	g	2160	2720	3140	3560	4120	4540	5510	6350	7330	8300	9140
Peak Force E1250-UC	N (lbf)	1024 (230.1)										
Peak Force E1100-XC	N (lbf)	800 (179.8)										
Cont. Force	N (lbf)	203 (45.7)										
Cont. Force Fan cooling	N (lbf)	354 (79.7)										
Border Force	%	79										
Force Constant	N/A (lbf/A)	32.0 (7.19)										
Max. Current @ 72vdc	A	32.0										
Max. Current @ 48vdc	A	- -										
Max. Velocity @ 72vdc	m/s (in/s)	2.1 (82)										
Max. Velocity @ 48vdc	m/s (in/s)	- -										
Phase Resist. 25/80 °C	Ohm	1.38/1.67										
Phase Inductance	mH	1.6										
Thermal Resistance	*K/W	0.8										
Thermal Time Const.	sec	3200										
Stator Diameter	mm (in)	48 (1.89)										
Stator Length	mm (in)	410 (16.12)										
Stator Mass	g (lb)	2980 (6.35)										
Position Repeatability	mm (in)	±0.05 (±0.0020)										
Linearity	%	±0.25	±0.20	±0.15	±0.15	±0.15	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10	±0.10
Position Rep. with ES	mm (in)	±0.01 (±0.0004)										
Linearity with ES	mm (in)	±0.01 (±0.0004)										

Figura 18 – Dimensioni e caratteristiche dell'attuatore elettromagnetico. Il modello prescelto ha una corsa totale di 330 mm ed una corsa di 180 mm (SS stroke) alla massima forza di 1024 N. Tale scelta è stata dettata dalla necessità di garantire la massima forza per tutta l'escursione del sedile (110 m).

L'attuatore è completato da un alimentatore per la parte meccanica e da un alimentatore per il modulo di controllo. Il sistema realizzato presenta dimensioni che ne consentono l'imbarcabilità su trattore.

L'attuatore può essere comandato in funzione di posizione, forza, velocità. E' già stato implementato con un notebook dotato di una scheda di acquisizione ad alta velocità. Tramite tale sistema al momento è possibile impartire all'attuatore dei movimenti comandati. Ad esempio, tramite il computer sono stati inviati al modulo di controllo i dati dei segnali corrispondenti alle oscillazioni in Figura 14, che vengono riprodotti fedelmente.

Il prossimo passo consisterà nel tentativo di far “reagire” il sistema, in modo uguale e contrario, idealmente in tempo reale, ad un segnale acquisito (accelerazione, forza, posizione) durante una fase operativa, quindi sottoponendo il sedile a sollecitazioni.

In una prima fase, vista la natura “casuale” delle sollecitazioni, legate cioè a singoli eventi, non prevedibili e non periodici, si valuterà la possibilità di realizzare un sistema in feed-back di tipo analogico, cioè basato sulla ricezione di un segnale e sulla immediata emissione di un segnale di risposta.

Tale tipo di applicazione dovrebbe risultare più veloce in quanto svincolata da ogni sorta di elaborazione digitale, subordinata all'utilizzo di algoritmi per l'analisi dei segnali in entrata.

Per le prove sul sedile è necessario, in primo luogo, che ad esso venga applicato l'attuatore. Tenendo conto delle dimensioni di attuatore, sedile e cabina di guida, la soluzione praticabile per la realizzazione del prototipo è quella schematizzata in Figura 19, con attuatore posizionato dietro il sedile.

In tale schema, il meccanismo di azione viene rovesciato, in quanto il cursore è fissato al pianale, mentre è lo statore a muoversi e ad esso è collegata la struttura in acciaio della seduta.

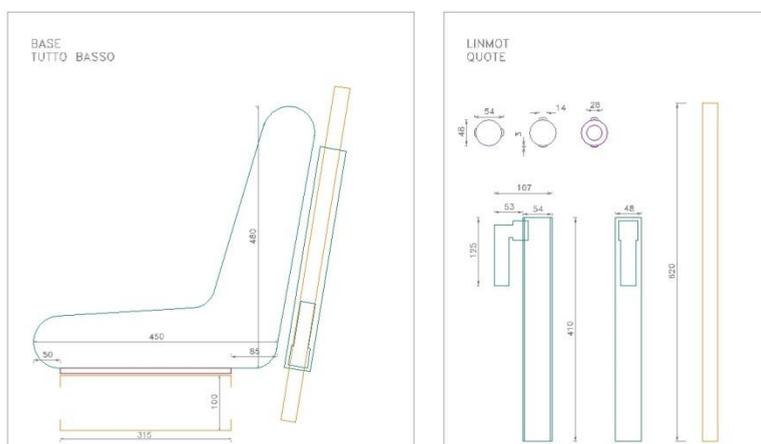


Figura 19 – Schema di posizionamento dell'attuatore rispetto al sedile.

Appena completata la struttura per l'applicazione al sedile dell'attuatore, avranno inizio i test per valutarne l'efficacia. Allo scopo, per avere delle condizioni controllabili di prova e per ottenere immediati riscontri sperimentali in base ai quali effettuare modifiche alla struttura e/o al sistema di controllo, è stato allestito una sorta di banco vibrante su misura per il sedile (Figura 20), basato su una piattaforma oscillante azionata da un motore elettrico tramite un riduttore ed un eccentrico.



Figura 20 - Banco prova allestito per i primi test sul sedile equipaggiato con il prototipo di apparato per il controllo attivo delle vibrazioni.

Il movimento oscillatorio è costante. E' possibile variare la corsa cambiando l'eccentrico. Le corse possibili sono ± 50 e ± 20 mm. La frequenza delle oscillazioni va da un minimo di 2 Hz ad un massimo di 180 Hz e può essere variata in modo fine tramite uno inverter. Per i test in oggetto saranno adottati i valori più bassi di frequenza ($< 10\text{Hz}$).

WP.1.2 – Rumore

La seconda linea di azione del WP 1 ha riguardato uno studio per la caratterizzazione dell'ambiente di lavoro dal punto di vista del rumore all'orecchio del conducente di trattorie agricole e macchine semoventi in genere. L'obiettivo da raggiungere era la realizzazione di un prototipo di dispositivo a controllo attivo per la riduzione del livello di rumore su mezzi semoventi con e senza cabina di guida.

Analogamente a quanto detto per le vibrazioni, un sistema attivo contro il rumore è basato sull'emissione di onde sonore in contro-fase a quelle del rumore stesso, aventi lo scopo di cancellare o attenuare queste ultime.

Per controllo attivo del rumore, d'ora in avanti indicato con il termine ANC (Active Noise Control), si intende una tecnica caratterizzata dal fatto che la riduzione della rumorosità si ottiene generando elettronicamente un rumore (rumore secondario) che crea un'interferenza distruttiva con il rumore presente (rumore primario). Ciò differisce con la tecnica tradizionale (passiva) nella quale la riduzione della rumorosità è ottenuta con l'impiego di strutture e materiali fono-assorbenti e fono-isolanti.

Nel presente studio, l'ANC è basato sulla misura del rumore, nella zona da bonificare, tramite un microfono. Il segnale viene analizzato in frequenza e inviato ad un sistema capace di generare un segnale in contro-fase, emesso da diffusori acustici opportunamente scelti e collocati nella stessa zona da bonificare.

Tenendo conto del tempo necessario al processo descritto e della variabilità del rumore durante il lavoro, è ragionevole pensare non alla cancellazione del rumore, ma alla sua attenuazione, possibilmente negli intervalli di frequenza ritenuti più dannosi per

l'udito, sebbene una riduzione generale avrà benefici effetti sul comfort generale dell'operatore.

L'attività ha portato alla realizzazione di un prototipo funzionante che ha fornito risultati positivi e degni di ulteriori studi per incrementarne l'efficacia.

Materiali

Sono stati sottoposti a prove i seguenti trattori:

- un trattore agricolo cingolato, non cabinato (Fiat Allis 150), con potenza massima pari a 108,8 kW a 1840 min⁻¹ del motore. I cingoli sono in ferro la cui tensione è regolabile idraulicamente. Sul trattore è stato montato un contagiri magnetico per la rilevazione dei giri motore.
- un trattore a ruote gommate con cabina insonorizzata (Landini Legend 145), a quattro ruote motrici, avente una potenza massima di 105 kW a 2100 min⁻¹.

Una parte considerevole dei test si è svolta nella sala prove trattori del CRA-ING, dotata di un freno dinamometrico Borghi & Saveri a correnti parassite per la determinazione delle curve caratteristiche del motore di trattori fino a 300 kW di potenza.

I rilievi spettro-fonometrici sono stati effettuati utilizzando la seguente catena strumentale:

- sound book-acquisitore/elaboratore di segnale ad otto canali con speciale software "Samurai" (Figura 2);
- capsula microfonica da ½" Brüel & Kjær, mod. 4189, con relativo schermo antivento, impiegata per la misurazione del livello sonoro in corrispondenza dell'orecchio del conducente, con e senza ANC secondo configurazioni variabili in base al trattore;
- calibratore per microfoni Brüel & Kjær, mod. 4231.

Il sistema per il controllo attivo del rumore è composto da:

- centralina di controllo DSP (Digital Signal Processor) per la generazione del rumore secondario, basata su un software originale, sviluppato dalla ditta Active di Roma, partner nel progetto e proprietaria del dispositivo;
- coppia di microfoni *electret* ad elevata sensibilità, connessi alla centralina;
- amplificatore di potenza stereo in classe D (600 W);
- coppia di casse acustiche realizzate con altoparlanti woofer da 33 cm di diametro, per le prove con il trattore cingolato;
- coppia di casse acustiche realizzate con altoparlanti woofer CIARE da 20 cm di diametro per le prove con il trattore gommato.

Metodi

In Figura 21 è riportato lo schema esemplificativo della configurazione di un ipotetico ANC. Tale schema è stato riprodotto nei test condotti con i due trattori menzionati in precedenza.

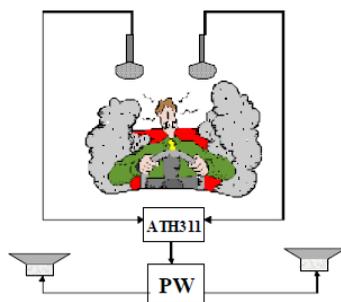


Figura 21 – Configurazione feedback a 2 canali interagenti.

Prove con trattore privo di cabina

Le prove avevano lo scopo di valutare il sistema di controllo attivo del rumore su un trattore privo di cabina. Le condizioni di prova dovevano essere ripetibili. In tal senso, il parametro utilizzato è stato il regime del motore. I rilievi sono stati effettuati a punto fisso (trattore fermo) e in campo aperto, acquisendo il livello sonoro con ANC inserito e disinserito, a vari regimi di rotazione del motore (Figura 22).



Figura 22 – Prove con l'ANC sul Fiat Allis 150. Da sinistra: consolle sul quadro comandi con ANC e amplificatore e, in basso, sui due lati, le casse acustiche; coppia di microfoni electret sospesi in corrispondenza della testa del conducente; microfono per le misure spettro-fonometriche.

Per ogni regime di rotazione sono state effettuate 3 ripetizioni con un tempo di campionamento di 30 s, ottenendo due serie di prove, la prima con l'ANC acceso e la seconda con ANC spento. I regimi di rotazione interessati dall'indagine sono stati dal regime minimo di 600 min^{-1} al regime di rotazione massimo di 2000 min^{-1} con incrementi di 100 min^{-1} . Nell'intervallo $1400 \div 1700 \text{ min}^{-1}$, in cui il sistema ANC appariva più efficiente i campionamenti sono stati effettuati per incrementi di regime di 50 min^{-1} .

Prove con trattore dotato di cabina

Le prove di cui al paragrafo precedente hanno un limite rappresentato dall'assenza di carico al motore. In altre parole, si fa variare il regime, ma il motore non è soggetto a richieste di potenza. In tali condizioni il rumore misurato non raggiunge mai i massimi livelli come invece accadrebbe in condizioni di lavoro, ad esempio durante una lavorazione del terreno, in cui la richiesta di potenza è elevata. Per poter ottenere tali condizioni di carico al motore e, contemporaneamente, mantenere la possibilità di controllarle e ripeterle a piacimento, si è fatto ricorso alla sala prove trattori, in cui il freno dinamometrico consente impostare la coppia resistente alla presa di potenza e quindi anche la po-

tenza erogata dal motore per vincere tale coppia. Si è scelto di effettuare tali prove con un trattore dotato di cabina insonorizzata per due motivi: 1) si voleva osservare il comportamento dell'ANC in una cabina chiusa; 2) ridurre il disturbo che la struttura della sala prove avrebbe causato alle misure di rumore al posto di guida senza cabina. E' stata eseguita una serie di rilievi preliminari volta ad individuare le posizioni di microfoni e casse acustiche in grado di ottimizzare le prestazioni del sistema ANC e ridurre gli ingombri in vista di effettuare prove in condizioni operative. L'organizzazione della zona di prova è visibile in Figura 23.



Figura 23 - Organizzazione delle prove con l'ANC su trattore al freno dinamometrico (a destra). Dall'alto: le due casse ad elevata efficienza posizionate ai lati del quadro comandi; due microfoni electret ai lati del poggiatesta e microfono per misure spettro-fonometriche; postazione di controllo dell'ANC e del sistema di analisi Soundbook.

I test sono stati pensati per effettuare la scansione del livello sonoro in cabina di guida lungo tutto l'intervallo di funzionamento del motore del trattore. Sotto questo aspetto, ciò che meglio descrive le condizioni di funzionamento del motore sono le sue curve caratteristiche di coppia e potenza, ottenute per mezzo del freno dinamometrico. Misurare il livello sonoro durante il rilievo delle curve caratteristiche consente di osservarne l'andamento in tutte le possibili condizioni di lavoro del motore, individuando quelle

più gravose dal punto di vista del rumore. L'analisi in frequenza fatta punto per punto, consente anche di determinare le frequenze più sensibili. Le serie di punti da cui si ottengono le curve caratteristiche sono riproducibili in test successivi, consentendo di effettuare confronti, sia puntuali che di insieme, fra i livelli sonori misurati con ANC acceso e spento. I test consistevano nel regolare la coppia resistente alla presa di potenza, a partire da zero al massimo regime, con valori crescenti fino al valore di coppia massima ed oltre. Per ciascun punto di regolazione, una volta raggiunte condizioni di stabilità, veniva effettuata la misura del livello sonoro, prima con ANC inserito e poi disinserito. Ogni misura durava 30 secondi e veniva ripetuta due volte. I valori ottenuti sono stati sottoposti ad analisi in frequenza in terzi di ottava, che ha restituito, punto per punto, le curve del livello di pressione sonora, sia in lineare (dB) che utilizzando il filtro di ponderazione A [dB(A)]. Per ciascun punto di misura è stato anche calcolato il livello equivalente medio risultante. I test hanno riguardato due coppie di casse acustiche. La prima, indicata come "casse grandi", era la stessa utilizzata nelle prove con il Fiat Allis 150. La seconda coppia di casse, di volume ridotto, è stata realizzata appositamente per essere installata sul Legend 145 senza limitare la manovrabilità del mezzo. Queste ultime casse, dotate di foro di accordo (bass reflex), sono state provate con foro aperto ("casse aperte") e chiuso ("casse chiuse"). In sintesi, i test hanno riguardato: 1) casse grandi; 2) casse aperte; 3) casse chiuse.

Risultati

Prove con trattore privo di cabina

I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 3. I maggiori valori di rumore raggiunti sono di oltre 91 dB(A) ai regimi più elevati in ponderato e oltre 100 dB in lineare. Intorno al regime di 1500 min^{-1} risultano più evidenti le attenuazioni ottenute con il sistema ANC attivo sia in lineare che in ponderato A. In particolare si sono ottenute attenuazioni di 8,2 dB(Lin) e 2,4 dB(A) e al regime di 1550 min^{-1} le attenuazioni ottenute sono risultate pari a 7,7 dB(Lin) e 2,5 dB(A). Per gli altri regimi di rotazione del motore le attenuazioni ottenute in lineare sono apprezzabili, dell'ordine di 3-5 dB(Lin), mentre risultano scarse (non superiori a 1 dB(A)) se ponderate in A. Quest'effetto è dovuto al fatto che nell'intervallo $1300\text{-}1800 \text{ min}^{-1}$ le componenti basse dello spettro (primo e secondo ordine motore) risultano molto pronunciate rispetto a quelle armoniche e questa condizione favorisce l'azione del controllo attivo. Diversamente, sopra i 1880 min^{-1} le righe dello spettro risultano quasi tutte allo stesso livello, rendendo meno accentuato l'effetto di attenuazione dei primi ordini. Da notare come a 1500 min^{-1} l'effetto del sistema ANC sia quello di portare il livello di esposizione L_{Aq} dell'operatore sotto il valore limite di 87 dB(A) previsto dal D.Lgs. 81/2008.

Tabella 3 – Risultati ottenuti durante i rilievi di rumore rispettivamente con sistema ANC attivo (on) e non attivo (off) ai regimi di rotazione del motore esaminati.

Regime motore (min ⁻¹)	ANC	L _{Aeq} dB(A)			μ	σ	Δ (off-on)	L _{eq} dB			μ	σ	Δ (off-on)
		Ripetizioni						Ripetizioni					
		1	2	3				1	2	3			
600	OFF	76.3	75.4	75.6	75.8	0.45	0.6	89.5	89.3	89.8	89.6	0.26	5.4
	ON	75.7	74.8	75.2	75.2	0.46		83.9	83.1	85.4	84.2	1.17	
700	OFF	78.5	78.0	77.9	78.1	0.35	0.9	94.4	95.5	95.4	95.1	0.61	7.7
	ON	77.8	77.0	77.0	77.3	0.45		87.5	87.7	86.9	87.4	0.42	
800	OFF	78.7	78.4	78.2	78.4	0.25	0.8	93.3	93.8	93.4	93.5	0.22	7.1
	ON	78.0	77.4	77.5	77.6	0.35		86.7	85.8	86.7	86.4	0.48	
900	OFF	79.8	79.8	80.2	79.9	0.19	0.3	91.6	92.4	90.9	91.6	0.74	3.3
	ON	79.4	79.5	80.0	79.6	0.33		87.9	88.4	88.7	88.3	0.39	
1000	OFF	81.2	81.0	80.8	81.0	0.19	0.3	91.4	91.9	91.4	91.6	0.33	3.0
	ON	80.8	80.6	80.7	80.7	0.11		88.2	88.2	89.2	88.5	0.57	
1100	OFF	81.5	81.2	80.9	81.2	0.27	0.3	94.7	93.3	93.5	93.8	0.74	4.6
	ON	81.1	80.9	80.8	81.0	0.14		88.9	88.7	90.0	89.2	0.71	
1200	OFF	83.9	83.5	83.1	83.5	0.40	0.7	96.1	96.6	95.7	96.1	0.45	5.0
	ON	83.1	82.4	82.7	82.7	0.35		90.9	90.7	91.7	91.1	0.49	
1250	OFF	83.8	83.6	83.5	83.6	0.15	0.2	96.7	96.0	96.2	96.3	0.34	4.4
	ON	83.5	83.4	83.4	83.4	0.06		91.9	92.2	91.6	91.9	0.27	
1300	OFF	84.5	84.5	83.7	84.2	0.47	0.4	96.9	99.3	97.4	97.9	1.27	5.6
	ON	84.0	84.0	83.4	83.8	0.33		92.2	92.3	92.3	92.3	0.06	
1350	OFF	84.9	84.5	83.9	84.5	0.51	0.9	99.8	99.3	98.5	99.2	0.66	6.7
	ON	83.7	83.7	83.4	83.6	0.18		92.8	92.8	91.9	92.5	0.55	
1400	OFF	85.5	85.3	85.1	85.3	0.25	1.7	101.6	102.3	102.0	102.0	0.37	8.5
	ON	83.7	83.5	83.5	83.6	0.10		93.5	93.9	93.1	93.5	0.36	
1450	OFF	87.1	86.8	86.6	86.8	0.25	2.0	103.2	102.4	102.3	102.7	0.49	7.8
	ON	84.7	84.9	84.8	84.8	0.10		94.5	95.3	94.7	94.8	0.40	
1500	OFF	88.1	87.9	88.0	88.0	0.13	2.4	103.6	102.8	103.2	103.2	0.38	8.2
	ON	85.5	85.4	85.8	85.6	0.19		95.0	94.4	95.5	95.0	0.56	
1550	OFF	89.7	89.5	89.2	89.5	0.24	2.5	104.6	104.3	104.2	104.4	0.19	7.7
	ON	87.2	87.3	86.4	87.0	0.51		97.3	97.5	95.2	96.7	1.27	
1600	OFF	90.2	90.1	90.1	90.1	0.08	2.2	104.2	104.4	104.5	104.4	0.15	6.6
	ON	88.2	88.1	87.3	87.9	0.48		98.3	98.8	96.3	97.8	1.32	
1650	OFF	90.2	90.0	89.8	90.0	0.21	1.7	103.9	103.7	103.6	103.7	0.12	5.4
	ON	88.5	88.1	88.3	88.3	0.19		98.5	98.4	98.2	98.4	0.18	
1700	OFF	89.9	89.7	89.8	89.8	0.13	1.3	103.1	103.0	103.3	103.1	0.13	4.5
	ON	88.2	88.4	88.9	88.5	0.34		97.8	98.5	99.4	98.6	0.78	
1800	OFF	89.8	89.8	89.8	89.8	0.04	-0.4	100.9	101.6	101.0	101.2	0.39	1.4
	ON	89.1	91.2	90.3	90.2	1.09		97.5	101.9	100.2	99.8	2.23	
1900	OFF	90.3	90.3	91.8	90.8	0.87	-0.3	99.1	99.8	102.2	100.4	1.65	0.7
	ON	90.2	90.8	92.3	91.1	1.08		98.0	99.0	102.0	99.7	2.04	
2000	OFF	91.5	91.6	91.6	91.6	0.05	0.1	99.3	99.5	99.4	99.4	0.11	0.7
	ON	91.3	91.5	91.6	91.4	0.16		98.6	98.9	98.7	98.7	0.11	

Nella Figura 24 si può osservare lo spettro in 1/3 di ottava relativo al rumore misurato in postazione operatore ai regimi motore di 600, 1550 e 2000 min⁻¹. L'analisi in frequenza mostra che in determinati valori di frequenza (40-100 Hz) si ha una riduzione del livello sonoro che ai regimi più bassi è dell'ordine di 10-12 dB.

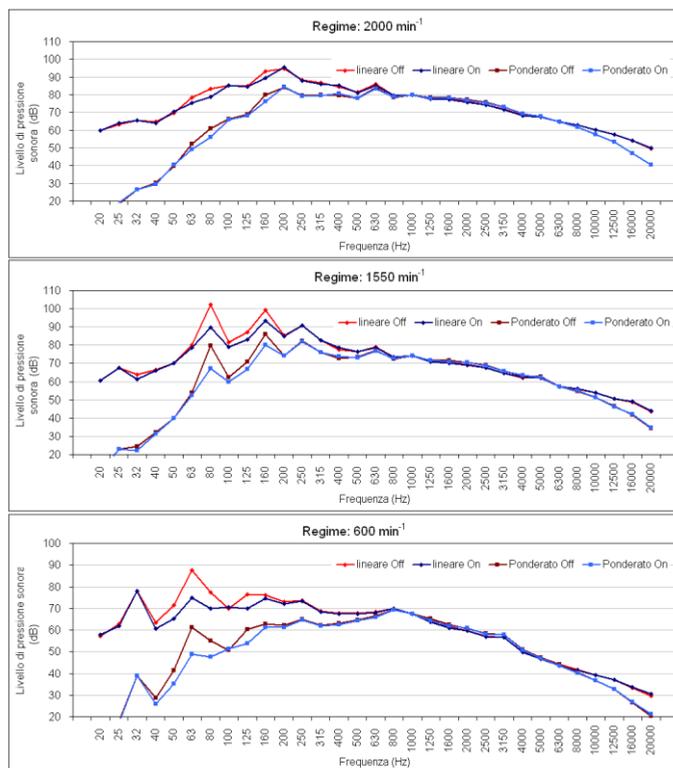


Figura 24 – Spettro in 1/3 di ottava relativo ai risultati delle misurazioni del livello sonoro con e senza il sistema a controllo attivo, con trattore fermo e variando il regime motore in assenza di carico.

Sebbene tale riduzione non sia rilevante ai fini del calcolo dei tempi di esposizione, in quanto le funzioni di ponderazione tengono conto di frequenze più elevate ritenute potenzialmente più dannose per la salute, si ha un chiaro incremento del livello di comfort da parte dell'operatore.

Prove con trattore dotato di cabina

Come descritto nel paragrafo “metodi”, le prove sono state effettuate secondo tre condizioni: 1) casse grandi; 2) casse aperte; 3) casse chiuse. In Figura 25 sono riassunti i risultati delle tre prove. I diagrammi mostrano, punto per punto, l'andamento dei valori risultanti del livello equivalente, lineare e ponderato, nell'intervallo di funzionamento del motore descritto dalle curve caratteristiche di potenza e coppia in funzione del regime. Queste risultano pressoché invariate nei tre casi. Ciascun valore di livello equivalente è la media di due ripetizioni.

Nella valutazione dei risultati occorre tenere presente le comuni condizioni di funzionamento di un trattore. Da questo punto di vista, ciascuna operazione agricola è caratterizzata da determinate richieste di potenza. Considerando le curve caratteristiche, raramente si opera sul ripido ramo di destra della curva di potenza, mentre la maggior parte delle situazioni operative è collocata sul ramo superiore della curva, che comprende i

massimi di potenza e di coppia. Nel caso in oggetto l'intervallo di regime da ritenere più significativo è quello fra 2000 e 1200 min^{-1} . Raramente il trattore è utilizzato a regimi inferiori a quello di coppia massima. In generale si nota che i valori del livello equivalente in "ponderato A" sono sempre al sotto di 80 dB(A)), per effetto della cabina insonorizzata. I valori in "lineare" sono molto più elevati e si collocano, in media intorno a 94 dB e a 87 dB rispettivamente con ANC spento e acceso. Le differenze fra i diagrammi dei dati in "lineare" e in "ponderato A", sono evidenti sia in termini di andamento al variare del numero di giri, che in termini di differenze riscontrate fra ANC spento e acceso. Riguardo all'andamento delle curve, procedendo da destra verso sinistra (carico crescente e regime decrescente) si osserva che le curve in "ponderato" tendono a decrescere, mentre per quelle in "lineare" tale andamento non è ben identificabile. Riguardo alle differenze fra le curve con ANC spento e acceso, esse risultano molto più evidenti in "lineare" rispetto al "ponderato A", dove per ampi tratti si sovrappongono. Le differenze in lineare sono sempre sensibili e tendono ad aumentare al diminuire del regime. Considerando le tre coppie di casse acustiche, l'ANC ha fornito risposte migliori ai livelli di rumore prodotto dalle condizioni di prova con "casse grandi" e "casse chiuse". Con le "casse aperte" le differenze fra ANC spento e acceso risultano molto evidenti solo ai bassi regimi. Poiché è previsto che il proseguimento dell'attività avvenga utilizzando le "casse chiuse", che consentono la piena operatività del trattore e quindi anche l'esecuzione di prove in campo, di seguito saranno riportati i risultati dei rilievi effettuati con tali casse.

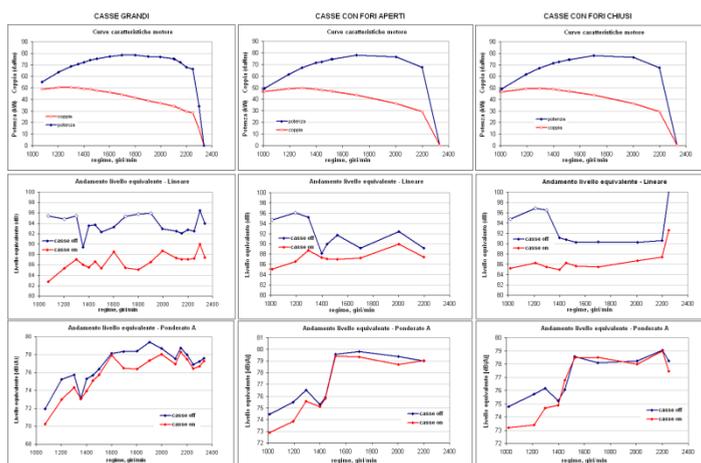


Figura. 25 - Riassunto dei risultati ottenuti utilizzando il sistema ANC con le tre coppie di casse acustiche.

In Tabella 4 sono riportati in dettaglio i valori medi delle misurazioni dei livelli equivalenti lineare e ponderato A effettuate punto per punto con ANC acceso e spento e con "casse chiuse". Sono riportate anche le differenze fra ANC spento e acceso. Il massimo abbattimento di livello equivalente lineare è stato pari a 11,05 dB al regime di 1295 min^{-1} , quindi nell'intervallo fra potenza massima e coppia massima. Alla massima potenza (1697 min^{-1}) si è avuto un abbattimento del rumore in lineare di circa 5 dB, mentre alla coppia massima (1210 min^{-1}) è stato di 10,68 dB. La media dei valori di abbattimento lineare è pari a 6,59 dB.

Tabella 4 – Quadro riassuntivo dei livelli equivalenti misurati su Landini Legend 145 nelle prove al freno dinamometrico con e senza ANC e con casse acustiche chiuse.

Regime motore (min ⁻¹)	ANC	L _{eq} dB		μ	σ	Δ (off-on)	L _{eq} dB (A)		μ	σ	Δ (off-on)
		Ripetizioni					Ripetizioni				
		1	2				1	2			
2341	OFF	99.98	100.22	100.10	0.170	7.50	78.61	77.84	78.23	0.543	0.77
	ON	92.75	92.46	92.60	0.209		77.63	77.27	77.45	0.257	
2200	OFF	90.55	90.66	90.60	0.078	3.21	79.14	78.98	79.06	0.115	0.08
	ON	87.28	87.51	87.40	0.167		78.84	79.12	78.98	0.201	
2006	OFF	90.44	90.09	90.27	0.247	3.58	78.14	78.35	78.24	0.145	0.25
	ON	87.51	85.87	86.69	1.154		77.92	78.06	77.99	0.094	
1703	OFF	90.18	90.60	90.39	0.296	4.95	77.49	78.71	78.10	0.862	-0.41
	ON	85.44	85.45	85.44	0.007		79.05	77.96	78.50	0.773	
1526	OFF	90.14	90.45	90.29	0.219	4.60	78.74	78.38	78.56	0.250	0.10
	ON	85.64	85.74	85.69	0.071		78.54	78.38	78.46	0.111	
1450	OFF	90.76	90.74	90.75	0.016	4.52	76.23	75.92	76.08	0.215	-0.70
	ON	86.24	86.23	86.24	0.006		77.35	76.20	76.77	0.811	
1399	OFF	91.15	91.18	91.16	0.020	6.20	75.14	75.33	75.23	0.135	0.36
	ON	85.01	84.91	84.96	0.075		74.70	75.06	74.88	0.256	
1299	OFF	96.37	96.62	96.49	0.182	11.05	76.05	76.31	76.18	0.181	1.49
	ON	85.51	85.38	85.45	0.093		74.65	74.72	74.69	0.055	
1213	OFF	96.85	96.94	96.90	0.063	10.68	75.99	75.47	75.73	0.365	2.33
	ON	85.73	86.71	86.22	0.688		73.39	73.41	73.40	0.013	
1018	OFF	92.65	96.94	94.80	3.032	9.58	74.05	75.47	74.76	1.005	1.56
	ON	83.732	86.7073	85.2196	2.1038		72.9899	73.4067	73.1983	0.29471	

- Le differenze fra i livelli equivalenti in “ponderato A” sono al contrario molto ridotte. La loro media è pari a 0.58 dB(A), con valori più elevati collocati in corrispondenza dei più bassi regimi del motore. Ciò è dovuto all’effetto del filtro “A” utilizzato per l’elaborazione dei valori misurati, che è strutturato per dare maggior peso alle alte frequenze, ritenute più dannose per la salute. L’effetto della ponderazione è quindi di ridurre il peso delle basse frequenze. Tale effetto è visibile nella Figura 26 in cui sono riportati i diagrammi dell’analisi in terzi di ottava del rumore misurato in ciascuno dei 10 punti di funzionamento del motore presi in esame. Sono riportati i livelli sonori lineare e ponderato A.

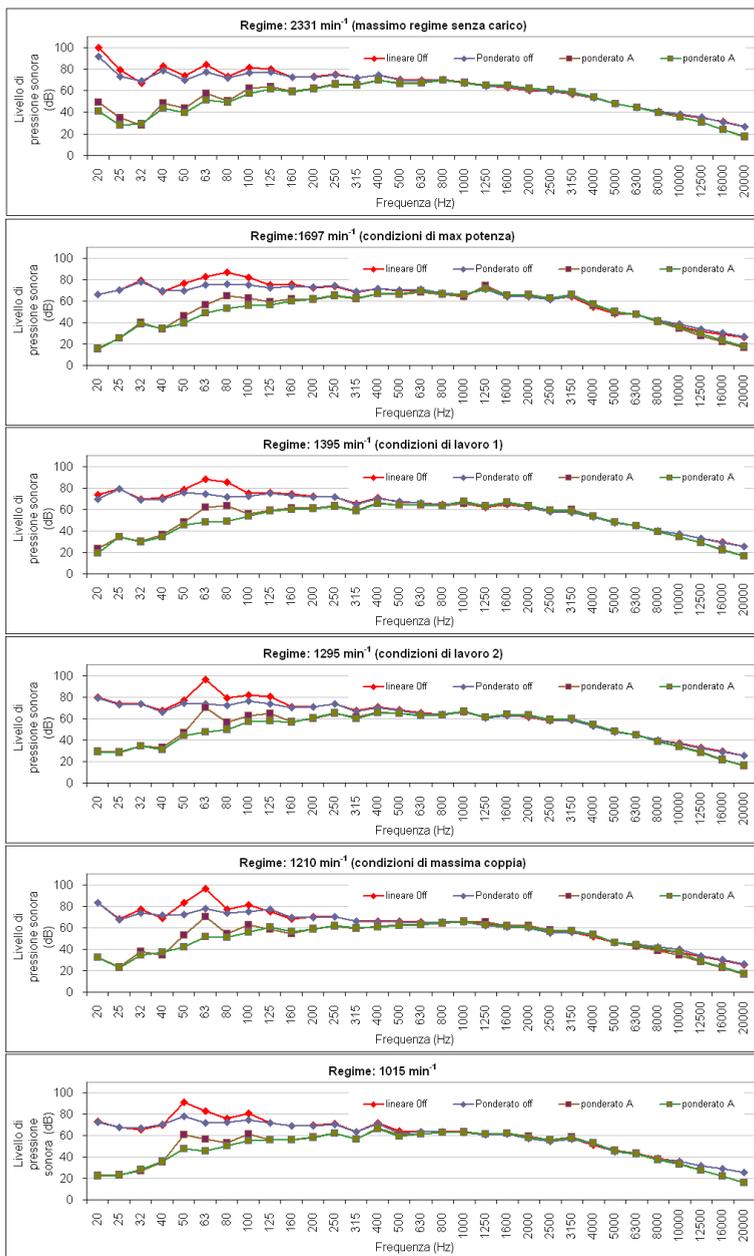


Figura 26 – Analisi in frequenza in terzi di ottava, lineare e ponderato A, del livello sonoro rilevato durante le prove al freno dinamometrico, con ANC acceso e spento. Ciascun diagramma si riferisce ad un punto di funzionamento del motore.

Le principali osservazioni da fare sono le seguenti:

- il livello equivalente in lineare aumenta alle basse frequenze, mentre quello in ponderato A diminuisce, per effetto del filtro di ponderazione A.

- Le differenze fra ANC acceso e spento sono sempre evidenti alle basse frequenze, inferiori a 150 dB, indice del fatto che l'ANC è particolarmente efficace alle basse frequenze, abbattendo i picchi individuati di volta in volta.

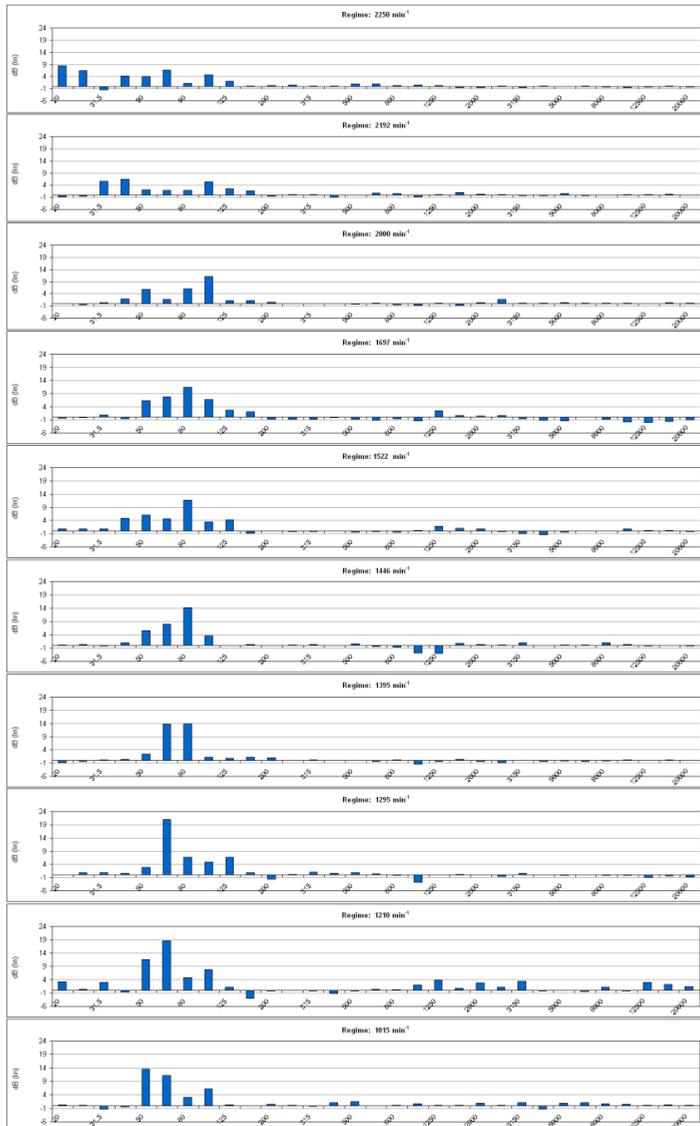


Figura 27 – Diagrammi delle differenze fra i livelli di pressione sonora in lineare con ANC spento e acceso, descritti dalle curve in Figura 26.

- I picchi più significativi di rumore si osservano fra i 50 e i 60 Hz. In tali punti si hanno anche i maggiori livelli di abbattimento che, nella zona di coppia massima erogata dal motore, superano i 20 Hz, come si può osservare in Figura 27, che riporta le differenze fra i livelli di pressione acustica lineare nei dieci punti di funziona-

mento del motore. Le differenze fra ANC spento e acceso in corrispondenza di tali picchi, anche in ponderato sono rilevanti, ma nel calcolo del livello equivalente medio vengono praticamente cancellate dal filtro A.

Quanto detto conferma le osservazioni fatte a proposito della Figura 25 e della Tabella 4 e indica che passando dalla posizione di massimo regime senza carico al motore a condizioni più gravose, si ha un progressivo abbassamento delle frequenze dominanti nel rumore emesso dal motore. Man mano che tale abbassamento progredisce, viene enfatizzato l'effetto dell'ANC che è evidentemente più efficace al di sotto dei 120-150 Hz.

Conclusioni

L'attività di sviluppo di dispositivi per il controllo attivo di rumore e vibrazioni è risultata molto stimolante dal punto di vista della ricerca e ha prodotto risultati interessanti, anche se parziali ma fondamentali per una più esaustiva trattazione che potrà essere effettuata in futuri progetti. A tal proposito, oltre alla già citata convenzione in atto con INAIL che si è sviluppata parallelamente al progetto INTRAC, sono state presentate altre proposte in attesa di valutazione. Tornando ai risultati della ricerca, riguardo alle vibrazioni è stata verificata la fattibilità di realizzare il sistema di controllo attivo delle sollecitazioni al sedile di guida secondo l'asse z (verticale). L'individuazione degli elementi costitutivi del sistema e la definizione degli interventi richiesti consentiranno la realizzazione del prototipo che potrà anche essere testato in via preliminare, sul banco prova realizzato appositamente al CRA-ING. Tale fase avverrà in tempi brevi nell'ambito della convenzione con INAIL (progetto CIV) che proseguirà nel 2015. E' prevista l'estensione del controllo attivo anche agli assi x e y, ma tale sviluppo è subordinato al finanziamento di una proposta presentata nel 2014. Riguardo al controllo attivo del rumore, l'attività ha raggiunto uno stadio più avanzato rispetto a quanto fatto per le vibrazioni. Un sistema ANC è stato realizzato e provato in condizioni significative dal punto di vista operativo e, ciò che più conta, ripetibili e controllabili. I dati ottenuti sono altamente indicativi ed hanno mostrato un chiaro effetto di abbattimento del livello di pressione sonora in cabina. La riduzione del rumore in lineare è evidente ai regimi in cui il motore è impegnato da carichi di lavoro medi ed elevati e si concentra su frequenze < 120 Hz. La riduzione del rumore secondo la ponderazione con il filtro di tipo A è al contrario poco evidente. A prescindere da ciò, si ritiene importante l'aspetto della "sensazione fisica" che si accompagna alla riduzione delle basse frequenze e che si concretizza in un sollievo rappresentato dall'eliminazione di una sollecitazione al limite fra suono e vibrazione che si colloca fra l'orecchio e il diaframma. Tale sensazione comporta un incremento significativo del comfort del conducente. Allo stesso tempo potrebbe rappresentare un interessante settore di studio sulla possibilità che l'esposizione cronica alle basse frequenze possa avere effetti sulla salute degli operatori.

Capitolo 3

Studio e sviluppo di dispositivi per la riduzione del rischio derivante dall'esposizione dell'operatore ad agenti chimici (dispersione di fitofarmaci veicolati nell'aria tramite polveri e aerosol)

Daniele Pochi ⁽¹⁾, Marcello Biocca ⁽¹⁾, Roberto Fanigliulo ⁽¹⁾, Marco Fedrizzi ⁽¹⁾, Renato Grilli ⁽¹⁾, Pietro Gallo ⁽¹⁾, Patrizio Pulcini ⁽²⁾, Cinzia Perrino ⁽³⁾, Francesca Marcovecchio ⁽³⁾

⁽¹⁾ CRA-ING, Monterotondo (RM)

⁽²⁾ CRA-PAV, Roma

⁽³⁾ CNR-IIA, Montelibretti (RM)

Sommario

Il presente studio illustra i risultati del Work Package (WP) 2 del progetto INTRAC, che aveva come obiettivi la quantificazione del livello di esposizione dell'operatore ad aerosol contenenti sostanze chimiche nel corso di operazioni agricole e la realizzazione di dispositivi per la riduzione della quantità di principi attivi dispersa in atmosfera in seguito all'impiego di macchine operatrici, come le seminatrici, che utilizzano semi trattati con prodotti fitosanitari. Nel lavoro, si illustrano i risultati, ottenuti in prove in campo e a punto fisso, dell'impiego di prototipi innovativi, sviluppati e testati dal CRA-ING. Essi consistono in dispositivi di tipo passivo, basati sulla filtrazione e la deposizione delle polveri. Inoltre, sono riportati i risultati di prove mirate alla quantificazione dell'esposizione dell'operatore alle polveri di abrasione derivanti dal mais conciato; per questo aspetto sono state proposte anche delle soluzioni tecniche atte a ridurre la potenziale esposizione. È infine descritto un sistema di abbattimento di tipo attivo, che prevede la trasformazione delle sostanze attraverso trattamento termico.

Introduzione

Lo studio è rivolto alla possibilità per gli utilizzatori di macchine agricole di venire a contatto con i prodotti fitosanitari utilizzati nell'ambito della normale attività produttiva. Tale esposizione è stata osservata nel corso delle esperienze che il CRA-ING ha condotto nell'ambito del progetto di ricerca APENET (Apenet, 2011), relativamente agli effetti sulle api legati alla dispersione dei prodotti concianti presenti sul seme di mais nel corso della semina, per effetto delle seminatrici pneumatiche. L'attività nell'ambito del progetto INTRAC mira a quantificare le sostanze che possono venire a contatto con l'operatore in modo da avere elementi per valutarne i potenziali rischi per la salute, sia acuti sia cronici.

In relazione alle necessarie competenze di tipo chimico-analitico, l'U.O. si è avvalsa dell'opera del CRA-PAV che ha già affiancato il CRA-ING in ambito APENET. Inoltre, è stata stipulata una convenzione con l'Istituto per l'Inquinamento Atmosferico del CNR, per un supporto specialistico (sia con personale sia con strumentazione) in relazione a specifiche tipologie di campionamenti delle polveri presenti nell'aria nel corso di prove in campo e a punto fisso.

L'esecuzione del programma ha visto il coinvolgimento di personale e mezzi facenti capo ai seguenti soggetti:

- CRA-ING, Monterotondo: disponibilità di mezzi, strutture e strumentazioni, organizzazione prove campo e punto fisso; campionamenti.
- CRA-PAV: partecipazione alle prove di campo, prelievo campioni e esecuzione analisi chimiche.
- CNR-IIA: campionamento aria, analisi gravimetrica, microscopia ottica ed elettronica, caratterizzazione dimensionale delle polveri.

Materiali e metodi – parte generale

L'attività si è articolata in prove di semina finalizzate a valutare l'efficienza di abbattimento delle polveri emesse dalle seminatrici e dei principi attivi da esse trasportati, da parte di prototipi realizzati e brevettati dal CRA-ING. Le prove sono state condotte sia in campo che a punto fisso, impiegando seme di mais conciato con tre principi attivi (p.a.) appartenenti alla classe degli insetticidi neonicotinoidi (imidacloprid, clothianidin, thiamethoxam) e un insetticida fenil-pirazonico (fipronil). Le prove sono state effettuate utilizzando lotti di sementi di mais commerciale (Pioneer Hybreed "Lolita" PR32G44 - peso di 1000 semi: 340 g) concciati con quattro insetticidi (Gaucho™, principio attivo (p.a.): imidacloprid, Poncho™, p.a.: clothianidin; Cruiser™, p.a.: thiamethoxam; Regent™, p.a.: fipronil) e un fungicida (Celest™, p.a.: fludioxonil e metalaxil).

Campioni di semi sono stati sottoposti ad analisi (test di Heubach - ESA STAT, 2011) per la quantificazione e caratterizzazione chimico-fisica delle polveri e dei principi attivi contenuti (Tabella 1). Nella stessa tabella, si riportano i valori della dose di p.a. applicata per seme (forniti dalle ditte sementiere) e i risultati del test, che comprendono anche le quantità di polvere grossolana che non viene considerata nel test di Heubach, ma che fornisce un'indicazione della potenziale attitudine della semente a produrre polvere da abrasione.

Per quanto riguarda le analisi chimiche (descritte in Pochi et al. 2012b), finalizzate alla quantificazione dei residui di p.a. nei captatori attivi e passivi utilizzati nelle varie prove, esse sono state effettuate dal CRA-PAV. Le analisi gravimetriche dei filtri, le osservazioni in microscopia ottica, il conteggio delle particelle di particolato disperso in atmosfera e la loro caratterizzazione dimensionale, sono stati invece effettuati dal CNR-IIA.

Prove in campo

Nella primavera 2012 sono state effettuate prove di semina di mais in campo presso l'azienda sperimentale del CRA-PCM, in località S. Pastore di Rieti (circa: 42°26'50" N; 12°47'46" E; 370 m s.l.m.), utilizzando la seminatrice di precisione in Figura 1 (Gaspardo "Magica" a 6 file), dotata di modifiche basate sul ricircolo parziale dell'aria aspirata dal depresso.

Tabella 1 – Polverosità del seme conciato con i quattro principi attivi, misurata con il cilindro di Heubach. I valori si riferiscono a 100 kg (=q) di semente.

Conciante	Dati dichiarati		Dati rilevati		
	Polvere fine (filtro Heubach) (g/q)	Dose p.a. (mg/seme)	Polvere fine (filtro Heubach) (g/q)	Polvere grossolana (g/q)	Polvere totale (g/q)
Gaucho (imidacloprid) + Celest	1,100	1,000	0,875	10,83	11,71
Poncho (clothianidin) + Celest	2,430	1,250	1,833	19,16	20,99
Cruiser (thiamethoxam) + Celest	1,200	0,600	0,950	5,00	5,95
Regent (fipronil) + Celest	1,780	0,500	0,723	9,08	9,81

Sono state confrontate tre configurazioni della seminatrice: convenzionale, “modifica 1” (M1) e “modifica 2” (M2); le modifiche risultano come segue:

- **M1** (Figura 1) consiste nel sistema di ricircolo parziale con filtraggio dell’aria in eccesso espulsa all’esterno ad opera di un filtro antipolline a carboni attivi (realizzata e brevettata nel precedente progetto APENET da Pochi et al., 2010). Riguardo alle caratteristiche del tipo di filtro utilizzato, il produttore indica che è efficace verso particelle di dimensioni $>0,5 \mu\text{m}$.
- **M2** (Figura 2) è stata sviluppata nel progetto INTRAC e consiste in un’evoluzione di M1 a cui è stato aggiunto un filtro elettrostatico per ottenere un ulteriore abbattimento della frazione sottile di polvere che riesce superare il filtro a carboni attivi.

Le prove avevano lo scopo di osservare il comportamento delle modifiche su ampie superfici in confronto alla macchina convenzionale. Gli appezzamenti seminati avevano superfici variabili da 3,5 a 8,0 ha. Lo schema di campionamento adottato nelle parcelle è riportato nella Figura 3. Le operazioni di semina sono state eseguite ad una velocità media di 7,5 km/h. Le distanze di semina erano di 0,75 m fra le file e di 0,17 m sulla fila.



Figura 1 – Modifica M1 con sistema di ricircolo e filtrazione dell’aria in eccesso tramite filtro anti-polline a carboni attivi (scatola grigia alla fine del tubo collettore verticale).



Figura 2 – Modifica M2: filtro elettrostatico applicato a valle del filtro antipolline per catturare la frazione residua nell'aria in uscita.

È stato impiegato seme di mais conciato con quattro principi attivi (imidacloprid, clothianidin, thiamethoxam, fipronil).

Durante i test, le condizioni micrometeorologiche sono state monitorate in continuo (Tabella 2) attraverso una stazione meteorologica portatile, settata per registrare i dati ogni due minuti.

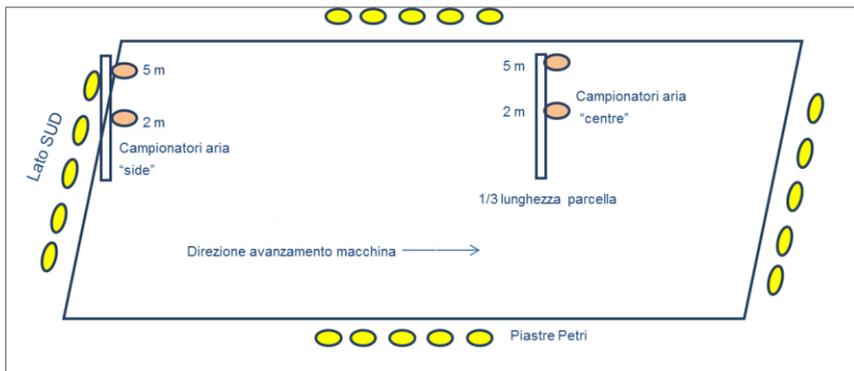


Figura 3 – Schema di una parcella di prova con i punti di campionamento a terra (piastrine Petri, sui quattro lati della parcella) e in aria (campionatori disposti a due altezze, sul bordo Sud e circa a 2/3 nel centro della parcella).

Tabella 2 - Condizioni micrometeorologiche durante le prove (c=clothianidin; f=fipronil; i=imidacloprid; t=thiamethoxam; Co=macchina convenzionale).

Operazione	Macchina	P.a.	T° aria (°C)	U. R. (%)	Velocità vento (m sec ⁻¹)	Direzione vento	Pressione atmosferica (mbar)
Carico	M2	t	16,0	58,5	0,2	variabile	1009
	M1	i	25,0	32,0	0,4	variabile	1018
	Co	i	26,0	47,0	0,5	variabile	1020
Semina	M1	t	17,4	52,3	0,8	variabile	1009
	Co	t	15,6	36,5	4,4	W	1016
	M1	c	18,6	30,1	5,8	N	1016
	Co	c	18,9	29,5	5,6	N	1016
	M1	f	18,5	n.d.	0,7	NNW	1015
	Co	f	20,7	29,4	0,7	NW	1015
	M2	i	23,1	43,6	1,5	E-NE	1018
	M1	i	25,9	30,4	0,4	variabile	1018
	Co	i	26,5	46,1	0,9	variabile	1020

Sono stati effettuati i seguenti campionamenti:

- a terra. Sui quattro lati, per valutare le deposizioni superficiali di p.a., disponendo su ciascun lato una serie di 5 piastre Petri con soluzione acetone/acqua al 50%. Le piastre Petri distanziate fra loro di 5 m, sono state posizionate in una linea parallela dal bordo del campo ad una distanza di 3 m (Figura 4).



Figura 4 – Disposizione dei campionatori d'aria nel corso della semina in campo: sono stati posizionati sulla testata sotto vento in relazione alla direzione del vento (ad inizio prova) e al centro del campo.

Tale approccio costituisce una modifica/semplificazione del metodo proposto dal “Julius Kuhn Institut” (Berlin-Dahlem, Germania) per la valutazione delle deposizioni in occasione degli studi condotti sugli effetti dei principi attivi concianti sulle api. La modifica consiste nel considerare contemporaneamente tutti i lati del campo di prova per cercare di eliminare la variabilità del vento (direzione e velocità), mentre la semplificazione consiste nel considerare solo una distanza dal bordo campo. In tal modo si perde l'informazione dell'andamento della deposizione in funzione della distanza, ma si è

scelto di fare in questo modo in quanto tutte le determinazioni effettuate per valutare gli effetti degli insetticidi concianti (Apenet, 2011) è stata sempre prudenzialmente considerata, come condizione peggiore, solo la concentrazione osservata alla distanza minore.

– in aria. Per valutare le concentrazioni di p.a. nell'aria, sono stati effettuati diversi tipi di campionamento: 1) a diverse altezze da terra (2 m e 5 m) e posizioni nel campo (ad inizio e circa a metà del campo, Figura 4); 2) in prossimità della cabina di guida tramite campionatore personale (stima quantità inalata dall'operatore durante la semina con cabina aperta); 3) durante il caricamento delle tramogge con il seme per stimare (tramite un campionatore d'aria personale) la quantità potenzialmente inalabile dall'operatore (Figura 5).



Figura 5 – Campionamento d'aria durante il riempimento delle tramogge.

Risultati delle prove in campo

Regolarità di semina

Innanzitutto si è verificato che l'applicazione della modifica alla seminatrice non ne alterasse la qualità del lavoro in termini di precisione di semina. Sono state condotte delle verifiche a punto fisso, riproducendo le condizioni di funzionamento in campo e misurando la quantità di seme distribuito dai sei gruppi distributori. Dopo le semine reali in campo, sono stati effettuati dei sopralluoghi per osservare le piantine dopo l'emergenza. Non è stata rilevata la presenza di significative differenze nei livelli di fallanze ed irregolarità fra la macchina convenzionale e la stessa modificata (Figura 6).

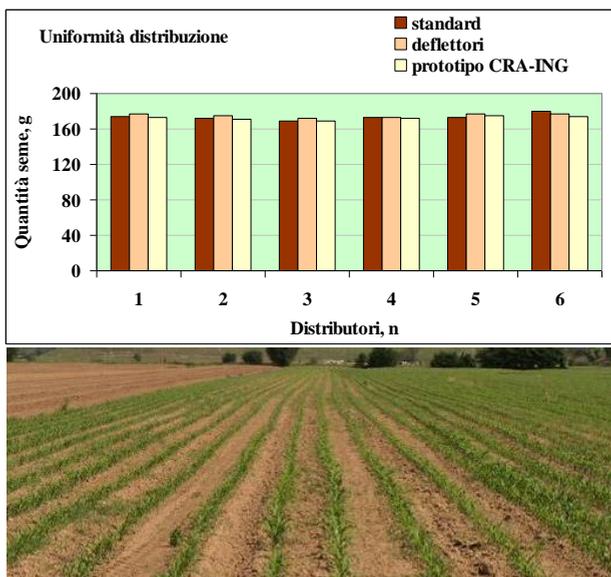


Figura 6 - Sopra: regolarità di distribuzione del seme con macchina standard, con deflettori d'aria e con il prototipo CRA-ING. Sotto: verifica della regolarità di emergenza.

Aspetto dei filtri

I filtri sono stati rimossi e sostituiti dopo ogni prova. Il loro aspetto è visibile in Figura 7. Il terreno, caratterizzato da un elevato contenuto di sabbia e limo, aveva ridotto contenuto di umidità e favoriva la formazione di grandi quantità di polvere nel corso della semina. Parte di tale polvere veniva inevitabilmente aspirata dal ventilatore centrifugo attraverso il sistema di distribuzione del seme della seminatrice, per poi essere espulsa, insieme alla polvere da abrasione, dallo stesso ventilatore direttamente in ambiente (macchina convenzionale) o attraverso il prototipo. In quest'ultimo caso, il parziale ricircolo e la presenza dei filtri all'uscita, hanno trattenuto una parte di tale polvere.



Figura 7 – Prove di semina con seminatrice modificata. A sinistra: filtro antipolline (è presente una notevole quantità di polvere derivante dal terreno). A destra: filtro elettrostatico, che si è dimostrato efficace nel trattenere la frazione più sottile di polvere sfuggita al filtro antipolline.

Il filtro antipolline a carboni attivi, risultato molto carico di polvere, aveva comunque una colorazione rossastra, ad indicare la presenza dei residui della concia. La presenza di grandi quantità di polvere originata dal terreno potrebbe influire negativamente sulla funzionalità del filtro, diminuendola. Tale aspetto dovrà essere approfondito. Come indicato in precedenza, il filtro antipolline è efficace su particelle di dimensioni $> 0,5 \mu\text{m}$. La frazione più sottile di polvere è quindi in grado di superarlo e di disperdersi nell'ambiente. Su tale frazione il filtro elettrostatico ha svolto una significativa azione, testimoniata dalla evidente colorazione rossa assunta dalle lamelle metalliche e, soprattutto, dai risultati dei campionamenti svolti.

Risultati dei campionamenti

Nelle Tabelle 3, 3 bis, 3 ter e 3 quater sono riportati i risultati delle analisi dei campioni prelevati a terra (piastre Petri). Le deposizioni legate all'utilizzo di M1 ed M2 sono state riportate con riferimento a ciascun lato e in totale.

Con M1 si sono osservati sostanziali abbattimenti delle deposizioni con thiamethoxam e con fipronil, mentre con clothianidin e imidacloprid i valori sono risultati inferiori alle attese e in netto contrasto con i risultati dei campionamenti in aria di cui si dirà più avanti. La causa di tale comportamento anomalo potrebbe risiedere in casi di contaminazione dei campioni durante la loro manipolazione o nel corso delle manovre eseguite a bordo campo (le piastre Petri erano a 3 m dal bordo del campo, su tutti i lati, quindi anche nelle capezzagne dove avvenivano le voltate e il transito iniziale e finale).

Trattandosi di prove non replicabili (per la limitatezza della superficie e della quantità di seme a disposizione) e non avendo rilevato dati a distanze superiori, non è possibile avere un riscontro statistico a tali ipotesi.

Osservando i dati in Tabella 3, lato per lato, per l'imidacloprid è possibile identificare alcuni valori anomali, considerabili outliers, la cui eliminazione fornirebbe risultati più in linea con le attese.

Eliminando tali valori dall'elaborazione, si otterrebbe:

- M1: un abbattimento di 94,0% rispetto alla macchina convenzionale, a fronte del 4,68%
- M2: abbattimento del 94,3 %. a fronte del valore 69,13 % con i valori ritenuti anomali.

Il thiamethoxam ha fatto registrare un abbattimento del 99,6% e non si rilevano dati anomali.

Per il fipronil la riduzione è risultata dell'81,3% ma si evidenzia che, con M1, solo in una piastra Petri si è rilevato un contenuto superiore a LOD.

Andamento del tutto anomalo è quello osservato per il clothianidin, per il quale l'abbattimento complessivo è risultato di appena il 19,2%.

Poiché sono stati rilevati frequenti valori molto alti, oltre le attese, sia con M1 che sulla macchina convenzionale, non è possibile identificare degli outliers.

D'altra parte tale andamento è in contrasto sia con quanto osservato con gli altri principi attivi, sia con i dati di prove di semina simulata a punto fisso in condizioni controllate (Apenet 2011), nelle quali si sono avuti abbattimenti nettamente superiori al 90%, per cui si ritiene che la prova con il clothianidin debba essere ripetuta.

Nella Figura 8 sono riassunti i valori rilevati a livello del suolo ($\mu\text{g m}^{-2} \pm$ errore standard), come medie dei cinque captatori (piastre Petri) disposte sui quattro lati delle parcelle di semina (Est, Nord, Sud e Ovest).

I risultati delle analisi dei filtri in PTFE dei campionatori d'aria sono riassunti, invece, in Tabella 4, dove si riportano i valori calcolati di concentrazioni nell'aria (ppb). Tali dati sembrano confermare l'elevata efficacia delle modifiche e, indirettamente, che l'ipotesi relativa alla presenza di outliers è plausibile.

La prima evidenza è che in tutti i campionamenti con macchina convenzionale (MNM) sono state rilevate quantità sensibili di principio attivo, mentre in seguito all'applicazione di M1 ed M2, il 65% dei campioni, 13 su 20, è risultato inferiore ai limiti analitici.

Fra i sette valori risultati rilevati con M1 ed M2, quattro sono risultati nettamente inferiori (in media dell'88%) dei corrispondenti dati della tesi MNM, mentre tre sono stati superiori. Analizzando questi ultimi, si osserva che si sono verificati:

- 1 con imidacloprid/M1;
- 1 con imidacloprid/M2;
- 1 con il thiamethoxam/M1.

Ciascuno di essi fa parte di un gruppo di quattro valori dei quali, gli altri tre sono inferiori al limite analitico.

In particolare, imidacloprid/M2 a 5 m, potrebbe configurarsi come un outlier, se confrontato con tutti gli altri valori osservati per lo stesso principio attivo e anche considerando che l'andamento generale mostra una chiara tendenza alla riduzione delle concentrazioni a 5 m di altezza rispetto a 2 m.

Pur risultando piuttosto evidente l'effetto positivo determinato dall'applicazione delle modifiche M1 ed M2, non sembra possibile sintetizzare tale effetto con un valore percentuale, a causa delle numerose e non controllabili cause di incertezza e della impossibilità di effettuare un numero di prove statisticamente significativo.

Tale impressione positiva è tuttavia stata confermata dai risultati di test a punto fisso, più avanti descritti, che hanno consentito di fare valutazioni più attendibili, data la ripetibilità delle prove in condizioni controllate. Si sottolinea, quindi, la necessità di una rigorosa cura nelle operazioni che prevedono la manipolazione dei campioni, onde ridurre al massimo il rischio di contaminazioni.

Tabella 3 – Valori (in $\mu\text{g piastra}^{-1}$) delle deposizioni a terra dei quattro principi attivi, con le tre configurazioni della seminatrice: MNM: macchina non modificata; M1: macchina con filtro antipolline a carboni attivi; M2: come M1 più filtro elettrostatico.
P.a. = imidacloprid.

Seminatrice	lato	Principio attivo ($\mu\text{g/piastra}$)					media $\mu\text{g/piastra}$	riduzione %
		1	2	3	4	5		
MNM	N	<lod	<lod	<lod	<lod	0,22	0,044	
	S	<loq	0,42	0,07	0,06	0,16	0,142	
	E	0,08	0,03	0,02	<loq	0,05	0,036	
	W	0,02	<loq	0,02	0,09	0,02	0,03	
	totale						0,063	
M1	N	1,125*	<lod	<lod	<lod	<lod	0,225	
	S	<lod	<lod	<lod	<lod	<lod	0	
	E	0,05	<lod	<lod	<lod	<lod	0,01	
	W	<lod	<lod	0,026	<lod	<lod	0,0052	
	totale						0,06005	4,68
M2	N	<loq	0,12*	<loq	<lod	<loq	0,024	
	S	0,197*	<lod	0,036	<loq	<lod	0,0466	
	E	<lod	<lod	<lod	<lod	<lod	0	
	W	<loq	<lod	<lod	<loq	0,036	0,0072	
	totale						0,01945	69,13

*Possibili valori outliers

Tabella 3 bis - P.a. = clothianidin.

Seminatrice	lato	Principio attivo ($\mu\text{g/piastra}$)					media $\mu\text{g/piastra}$	riduzione %
		1	2	3	4	5		
MNM	N	0,012	0,13	0,029	0,048	<lod	0,0438	
	S	0,62	0,43	0,42	0,94	0,55	0,592	
	E	0,15	0,07	0,12	0,24	0,05	0,126	
	W	<loq	<loq	<loq	<loq	<loq	0	
	totale						0,19045	
M1	N	<loq	<loq	<loq	0,011	<loq	0,0022	
	S	0,65	0,68	0,18	0,38	0,030	0,384	
	E	0,48	0,26	0,038	0,19	0,11	0,2156	
	W	<loq	0,012	0,018	<loq	0,038	0,0136	
	totale						0,15385	19,22

Tabella 3 ter - P.a. = thiamethoxam.

Seminatrice	lato	Principio attivo ($\mu\text{g}/\text{piastra}$)					media $\mu\text{g}/\text{piastra}$	riduzione %
		1	2	3	4	5		
MNM	N	<loq	<loq	<loq	<loq	<loq	0	
	S	0,14	1,61	2,74	0,39	0,52	1,08	
	E	<loq	<loq	<loq	<loq	<loq	0	
	W	0,015	0,065	0,12	0,03	0,14	0,074	
	totale						0,2885	
M1	N	<loq	<loq	<loq	<loq	<loq	0	
	S	<loq	<loq	<loq	<loq	<loq	0	
	E	0,01	<loq	<loq	<loq	0,011	0,0042	
	W	<loq	<loq	<loq	<loq	<loq	0	
	totale						0,00105	99,64

Tabella 3 quater - P.a. = fipronil.

Seminatrice	lato	Principio attivo ($\mu\text{g}/\text{piastra}$)					media $\mu\text{g}/\text{piastra}$	riduzione %
		1	2	3	4	5		
MNM	N	<lod	<lod	<lod	<lod	<lod	0	
	S	<lod	0,01	0,01	0,04	0,01	0,014	
	E	<lod	<lod	<lod	<lod	<lod	0	
	W	<loq	<loq	0,021	0,022	0,026	0,0138	
	totale						0,00695	
MM	N	<lod	<lod	<lod	<lod	<lod	0	
	S	<lod	<lod	<lod	<lod	<lod	0	
	E	<lod	<lod	<lod	<lod	<lod	0	
	W	<lod	<lod	0,026	<lod	<lod	0,0052	
	totale						0,0013	81,29

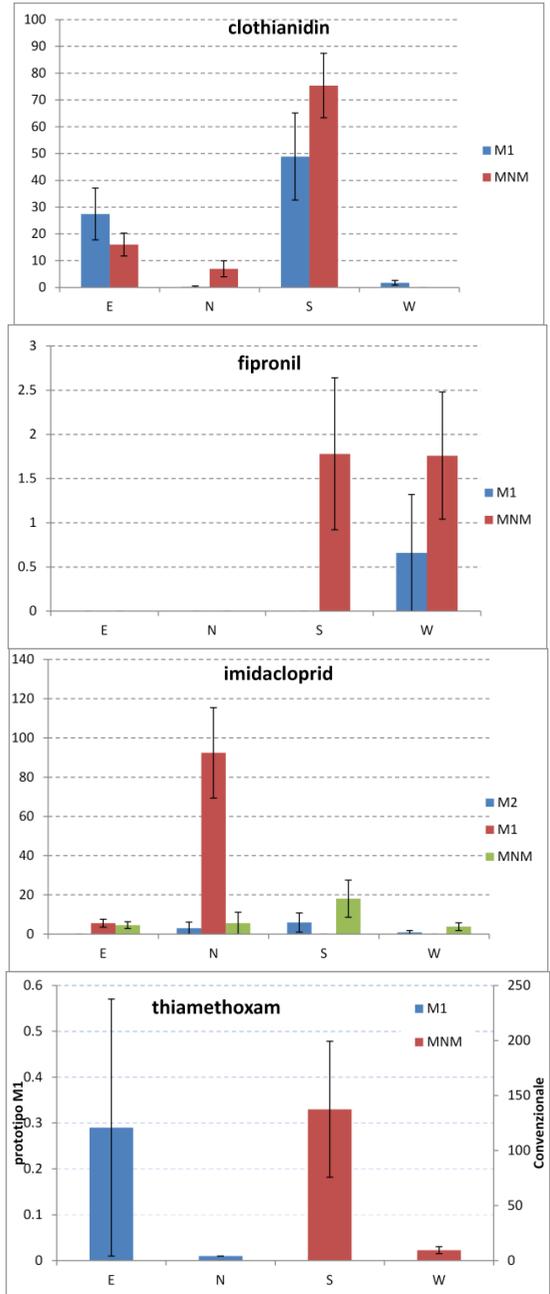


Figura 8 – Quantità ($\mu\text{g m}^{-2} \pm$ errore standard) rilevate a livello del suolo, durante le prove in campo. I dati sono mostrati come medie dei cinque captatori (piastre Petri) disposte sui quattro lati delle parcelle di semina (Est, Nord, Sud e Ovest).

Tabella 4 – Concentrazioni di principio attivo nell'aria in $\mu\text{g m}^{-3}$ e riduzioni percentuali dell'emissione provocate dall'impiego dei prototipi.

Posizione	Altezza (m)	Macchina			Riduzione	
		M2	M1	MNM	M1	M2
clothianidin						
Centro	2	-	0,025	0,609	95,9%	
	5	-	0,005	0,089	93,9%	
Lato	2	-	0,020	0,385	94,9%	
	5	-	0,011	0,023	49,5%	
fipronil						
Centro	2	-	0,007	0,078	91,5%	
	5	-	0,002	0,052	95,2%	
Lato	2	-	0,017	0,063	72,9%	
	5	-	0,012	0,091	86,2%	
thiamethoxam						
Centro	2	-	0,019	0,008	-134,8%	
	5	-	0,009	0,009	-0,4%	
Lato	2	-	0,008	0,105	92,3%	
	5	-	0,008	0,058	86,1%	
imidacloprid						
Centro	2	0,003	0,008	0,032	76,1%	90,1%
	5	0,008	0,006	0,031	82,5%	76,2%
Lato	2	0,003	0,035	0,034	-2,6%	90,5%
	5	0,137	0,007	0,026	72,4%	-421,0%

Esposizione degli operatori

Anche l'operatore addetto alle operazioni di semina e altri soggetti (come i residenti delle zone limitrofe o i frequentatori occasionali) possono essere esposti alle polveri di abrasione che si disperdono durante la semina come particolato sottile in atmosfera. Questo aspetto risulta fino ad oggi poco indagato, sia per la non elevata tossicità acuta verso i mammiferi di questi prodotti (Tabella 5), sia per il maggior interesse finora suscitato dai fenomeni di deriva e contaminazione provocati da aerosol liquidi (Dowling e Seiber, 2002).

Tabella 5 - Valori di tossicità dei quattro p.a. Viene riportata la CL_{50} (concentrazione letale ratto) e l'AOEL (Acceptable Operator Exposure Levels per kilogrammo e nell'ipotesi di un operatore di 75 kg di peso).

Principio attivo	CL_{50}	AOEL		Operatore	
	mg l^{-1}	mg kg^{-1}	peso giorno^{-1}	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

L'esposizione dell'operatore può avvenire durante l'apertura e la manipolazione dei sacchi di semente, il riempimento delle tramogge e durante la semina in campo. Vari

fattori possono contribuire all'ampiezza del fenomeno, come la presenza di una cabina del trattore chiusa e l'impiego di adeguati DPI (dispositivi di protezione individuale), le condizioni micrometeorologiche, lo stato della semente e il tipo di seminatrice impiegata. Le principali vie d'esposizione sono il contatto con la pelle e l'inalazione, mentre l'assorbimento orale, dovuto al trasferimento di polvere verso la bocca attraverso il contatto con le mani contaminate, è di minore importanza. Per ridurre l'esposizione alle polveri, oltre a sistemi passivi rappresentati dai DPI, si possono adottare altri metodi, come quello di migliorare la qualità della concia, ottimizzare i parametri di lavoro della macchina (ad esempio, regolando opportunamente il valore della depressione della macchina) oppure adottare dispositivi che limitino la deriva del particolato in atmosfera.

Metodi utilizzati

In concomitanza con le prove di campo precedentemente descritte, sono stati misurati i valori di esposizione dell'operatore durante il carico di semente concia con imidacloprid e thiamethoxam e durante la semina in campo con tutti e quattro i p.a., nelle due versioni (convenzionale e M1) della seminatrice. Per il solo imidacloprid, è stata svolta una prova utilizzando il dispositivo M2. I campionamenti sono stati effettuati con dei campionatori personali (Zambelli), indossati dall'operatore durante il carico del seme oppure montati sul trattore in prossimità della cabina di guida durante la semina (Figura 9). Tutti i campionatori impiegati erano equipaggiati con filtri di PTFE (Millipore) da 0,45 μm senza nessuna testa di taglio; le portate dei campionatori sono riportate nelle successive Tabelle 6 e 7.



Figura 9 – Semina in campo (notare la cabina del trattore aperta); a destra, particolare del posizionamento del campionatore in prossimità della cabina.

Risultati

Nella Tabella 6 vengono presentati i risultati relativi alle concentrazioni di p.a. nell'aria durante le fasi di carico del seme, mentre in Tabella 7, 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 (Jensen, 1984). I dati rilevati mo-

strano in genere un'ampia variabilità, specie durante la fase di carico della semente conciata, 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 6) fino ad un massimo di 39,25 $\mu\text{g m}^{-3}$ (prova i_1 in Tabella 6). 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 relativamente breve di campionamento.

Tabella 6 - Valori di concentrazione nell'aria ($\mu\text{g m}^{-3}$) di p.a. durante l'operazione di carico della semente conciata e quantità potenzialmente inalabile dall'operatore in 8 ore di lavoro (μg) (i =imidacloprid; t =thiamethoxam).

Principio attivo	Portata campionatore (l min^{-1})	Tempo campionamento (min)	Volume aria (l)	Concentrazione ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Quantità inalabile in 8 h (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

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 $\mu\text{g m}^{-3}$). Tale differenza nel range dei valori è poi ancora minore durante l'utilizzo della seminatrice modificata messa a punto dal CRA-ING (Tabella 7).

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%.

Tabella 7 - Valori di concentrazione nell'aria ($\mu\text{g m}^{-3}$) di p.a. durante l'operazione di semina della semente conciata e quantità potenzialmente inalabile dall'operatore in 8 ore di lavoro (μg). (c =clothianidin; f =fipronil; i =imidacloprid; t =thiamethoxam).

Principio attivo	Portata campionatore (l min^{-1})	Tempo campionamento (min)	Volume aria (l)	Concentrazione ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Quantità inalabile in 8 h (μg)
Seminatrice convenzionale					
c	2,2	48	106	0,29	2,8
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
Seminatrice modificata M1					
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

^(*)media di due misure.

Il presente lavoro ha fornito i valori di principi attivi (neonicotinoidi e fipronil) contenuti nelle polveri di abrasione del mais e potenzialmente inalabili da un operatore. La fase di carico del seme nelle tramogge delle seminatrici è risultata l'operazione più importante in termini di polvere liberata, pur se di breve durata rispetto alla semina. Tuttavia anche durante la semina, una certa frazione della polvere emessa dalla seminatrice raggiunge l'operatore. In questa fase, l'uso del prototipo sviluppato dal CRA-ING riduce sensibilmente l'esposizione, anche se la sua efficacia è stata dimostrata nelle prove di campo solo in tre casi su quattro. I valori ottenuti, si riferiscono alle sole quantità di p.a. catturato dai filtri e presentano, in genere, un elevato range di variazioni, poiché, analogamente a quanto osservato per gli aerosol liquidi (Wolf et al., 1999) sono numerosi i parametri ambientali e le caratteristiche del prodotto che ne influenzano la volatilità. Non sono state riportate le quantità assolute di particolato atmosferico rappresentato dalla polvere di abrasione, che pure potrebbero rappresentare una potenziale fonte di rischio per chi le inalasse.

Inoltre, va considerato che i dati sono riferiti a periodi relativamente brevi di esposizione, che possono aumentare notevolmente calcolando le prolungate fasi di lavoro usuali nei periodi di semina del mais (e di altre colture).

Nelle reali condizioni di lavoro è pertanto obbligatorio che gli utilizzatori di sementi conciate utilizzino appropriati DPI, per la protezione della cute e delle vie respiratorie. In particolare, per la scelta delle mascherine, bisogna tener conto del diametro aerodinamico delle particelle, che, nel caso delle polveri di abrasione, risulta essere particolarmente sottile.

Particolarmente utile alla riduzione del rischio potenziale dato dall'inalazione delle polveri è un approccio integrato al problema, che preveda sia l'uso di protezioni passive per l'operatore (DPI) sia l'impiego di materiali e di mezzi meccanici in grado di ridurre l'esposizione.

Prove a punto fisso

I test punto a punto fisso si sono articolati in due differenti sezioni di prove.

Una prima sessione è stata finalizzata a valutare l'efficienza dei prototipi e a caratterizzare dal punto di vista dimensionale le polveri da abrasione, mentre una seconda sessione è consistita in prove di semina simulate per valutare la deriva delle polveri in ambiente controllato ("galleria del vento"), sempre mettendo a confronto la macchina tradizionale e il prototipo.

Efficienza dei filtri e caratterizzazione della polvere da abrasione

Le prove sono state realizzate in collaborazione con l'Istituto per l'Inquinamento Atmosferico del CNR di Montelibretti (RM), allo scopo di rilevare il livello di efficienza dei filtri adottati per la modifica M1, in condizioni controllate. I test sono stati effettuati nel 2011 e nel 2013 (Figura 10). Nel 2013 è stata testata anche la nuova modifica (M2). Per i test del 2011, si rimanda alla relazione di prova a cura del CNR, oggetto di un articolo sottoposto ad una rivista scientifica internazionale (citare bibliografia). Le prove sono state condotte sfruttando opportunamente i quattro tubi deflettori che partono dall'uscita del ventilatore (configurazione della seminatrice Gaspardo testata nella prima parte del progetto Apenet) al fine di canalizzare l'aria espulsa dalla seminatrice in un tubo collettore in PVC, lungo 2 metri, con diametro di 118 mm, dove avvenivano i campionamenti dell'aria. Nel tubo, attraverso l'inserzione di una sonda

anemometrica (TSI, mod. Velocicalc 9535), venivano monitorate in continuo le condizioni del flusso d'aria, al fine di controllare il rispetto delle condizioni di isocinetismo necessarie ai campionamenti e che erano state precedentemente individuate durante alcune prove preliminari. I test effettuati sono qui riassunti in Tabella 8.

Tabella 8 – Tesi sperimentali messe a confronto nelle diverse configurazioni della seminatrice e con diversi principi attivi.

	Tesi	Principio attivo	Tempo (min)	Seme (kg)
1.	M2	thiamethoxam	15	12,6
2.	M1	thiamethoxam	15	12,6
3.	Convenzionale	thiamethoxam	15	12,6
4.	M2	clothianidin	14	12,6
5.	Convenzionale	clothianidin	14	12,6
6.	M2	imidacloprid	16	16,8
7.	M1	imidacloprid	86	84,6
8.	Convenzionale	imidacloprid	82	84,6
9.	Convenzionale senza ricircolo	imidacloprid	15	16,8
10.	M2	fipronil	16	16,8
11.	M1	fipronil	16	16,8
12.	Convenzionale	fipronil	93	94,1

La seminatrice (nelle sue diverse configurazioni), operava sollevata dal terreno, ed era azionata tramite la p.d.p. di un trattore da 60 kW, con la regolazione del flusso della ventiatore impostata a -45 mbar. La ruota motrice della seminatrice era invece azionata da un motore elettrico collegato ad inverter comandata (Omron Varispeed V7) che permetteva di ottenere la velocità virtuale di avanzamento desiderata ($1,67 \text{ m s}^{-1} = 6 \text{ km h}^{-1}$).

Nel tubo di campionamento sono state inserite le sonde per:

- determinazione della concentrazione del particolato emesso, tramite membrane filtranti in PTFE, mediante analisi gravitazionale (massa totale) e chimica (contenuto di principio attivo);
- caratterizzazione in microscopia ottica del particolato, tramite membrane filtranti in nitro-cellulosa;
- caratterizzazione granulometrica del particolato tramite impattore multistadio a 10 elementi ($> 18 \mu\text{m}$, $10\text{-}18 \mu\text{m}$, $5,6\text{-}10 \mu\text{m}$, $3,2\text{-}5,6 \mu\text{m}$, $1,8\text{-}3,2 \mu\text{m}$, $1,0\text{-}1,8 \mu\text{m}$, $0,56\text{-}1,0 \mu\text{m}$, $0,32\text{-}0,56 \mu\text{m}$, $0,18\text{-}0,32 \mu\text{m}$);
- caratterizzazione granulometrica del particolato tramite spettrometro di 15 classi dimensionali (da $0,3$ a $20 \mu\text{m}$).

Le analisi hanno riguardato tutti e quattro i p.a. (Tabella 9). I dispositivi filtranti M1 e M2 sono stati confrontati con una macchina convenzionale senza filtro, ma dotata del tubo collettore che permette un parziale ricircolo della polvere; per la sola prova con imidacloprid è stata anche utilizzata la macchina convenzionale senza filtri e ricircolo. In questa configurazione, l'aria espulsa dal ventilatore è incanalata direttamente nel tubo di campionamento.



Figura 10 – Prove a punto fisso con campionamenti d’aria multipli con pompe, impattore e sonda “laser scanner”.

Il dispositivo M2 è stato testato con tutti e quattro i p.a., mentre M1 con tre (esclusione del clothianidin). I risultati in Tabella 8 confermano l’efficienza di M1 delle prove 2011 (sul solo imidacloprid) con abbattimenti sempre superiori al 92%. L’applicazione di M2 comporta un ulteriore miglioramento della qualità dell’aria espulsa dalla macchina con riduzioni intorno al 99%. È interessante notare come, nel confronto con imidacloprid fatto tra macchina senza filtro e macchina senza né filtro né sistema di ricircolo, l’abbattimento risulta molto significativo, lasciando ipotizzare che buona parte della polvere sia fermata dalla rideposizione della stessa all’interno del circuito pneumatico della macchina.

Tabella 9 – Prove di verifica di efficienza delle modifiche M1 e M2 in condizioni di isocinetismo. Concentrazioni ($\mu\text{g m}^{-3}$) dei 4 p.a. e riduzioni derivanti da M1 e M2. Per imidacloprid il prototipo è stato testato anche in configurazione senza ricircolo d’aria dentro il collettore (c=clothianidin; f=fipronil; i=imidacloprid; t=thiamethoxam).

Data	Macchina	P.a.	Concentrazione ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Riduzione (%)
16.05	M2	t	3,0	99,68
16.05	M1	t	59,5	93,67
16.05	Conv. (senza filtro)	t	940,2	
16.05	M2	c	0,4	99,96
16.05	Conv. (senza filtro)	c	904,6	
17.05	M2	i	0,5	99,75 (99,98)*
17.05	M1	i	11,9	94,45 (99,56)*
17.05	Conv. (senza filtro né ricircolo)	i	2704,2	
17.05	Conv. (senza filtro)	i	215,2	92,04
23.05	M2	f	1,6	98,64
23.05	M1	f	10,4	90,95
23.05	Conv. (senza filtro)	f	114,8	

* riduzione percentuale rispetto all’emissione campionata senza collettore di ricircolo.

Per quanto riguarda la caratterizzazione delle polveri emesse, sono state svolte prove con impattore multistadio eseguite per imidacloprid con macchina convenzionale e M2 e per fipronil con M1. L’analisi chimica dei filtri ha consentito di definire le quantità di p.a. per le nove frazioni di polvere. In Tabella 10 sono riportati i risultati riferiti agli interval-

li dimensionali e le riduzioni osservate applicando M2. Per una più immediata valutazione si osservi anche Figura 11.

Tabella 10 – Risultati delle prove con l’impattore multistadio.

Classi dimension. μm	imidacloprid				Riduzione p.a. %	fipronil MNM	
	MNM		M2			p.a. mg/filtro	p.a. su totale %
	p.a. mg/filtro	p.a. su totale %	p.a. mg/filtro	p.a. su totale %			
SF	5,8	4,80	0,8	7,42	86,6	6,9	2,6
>18	18,26	15,01	0,45	4,28	97,5	44,51	17,0
10-18	19,85	16,31	0,27	2,57	98,6	43,12	16,4
5,6-10	17,89	14,70	0,37	3,52	97,9	48,73	18,6
3,2-5,6	18,72	15,38	1,03	9,80	94,5	40,3	15,3
1,8-3,2	9,15	7,52	1,24	11,80	86,4	27,34	10,4
1,0-1,8	8,9	7,31	1,93	18,36	78,3	14,93	5,7
0,56 -1,0	11,41	9,38	2,67	25,40	76,6	18	6,9
0,32-0,56	3,52	2,89	0,93	8,85	73,6	10,92	4,2
0,18-0,32	8,15	6,70	0,84	7,99	89,7	7,71	2,9
totale	121,69	100,00	10,51	100,00	91,3	262,46	100,0

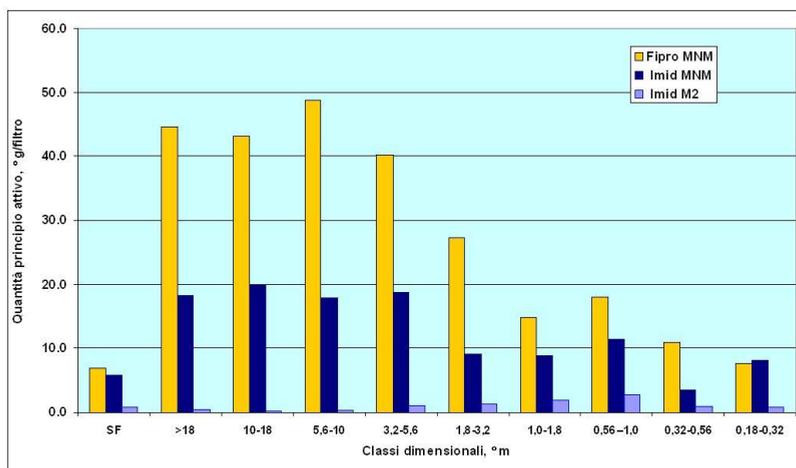


Figura 11 – Prove con impattore: andamento delle quantità di p.a. rilevate nelle singole classi dimensionali.

In Figura 12 si osserva l’andamento delle quantità di p.a. rilevato in ciascuna frazione granulometrica, considerato in percentuale del p.a. totale. Si osserva chiaramente che con MNM l’andamento seguito da fipronil e imidacloprid è molto simile, con percentuali maggiori per le classi dimensionali più grandi. L’applicazione di M2 per imidacloprid determina una inversione dell’andamento, con aumento delle percentuali per le classi più piccole, con un massimo intorno ad 1 μm . Ciò indica una elevatissima efficienza per le particelle più grossolane.

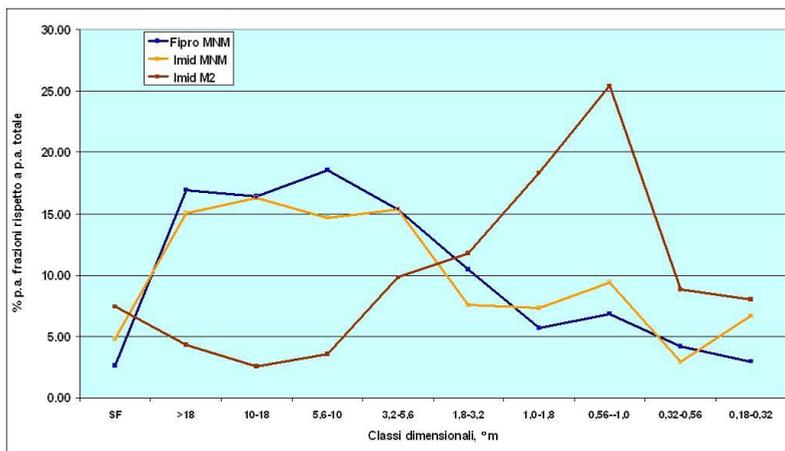


Figura 12 – Andamento delle percentuali di p.a. di ciascuna frazione rispetto al p.a. totale rilevato dalle analisi sui filtri dell’impattore.

Per quanto riguarda la determinazione effettuate con lo spettrometro laser, si riporta, a titolo di esempio, il risultato del confronto fra le tre configurazioni della macchina (Figura 13) in termini di concentrazione media delle particelle nel flusso d’aria per tutti e quattro i p.a. La figura illustra chiaramente l’efficienza nella ritenzione del particolato da parte dei filtri dei dispositivi M1 e M2. Si evidenzia, in particolare, come la soglia dei 4 μm di diametro aerodinamico sembra costituire il limite dell’efficienza del filtro elettrostatico. Tale punto di sovrapposizione delle curve tra M1 e M2 si raggiunge comunque a valori di concentrazione del particolato di bassissima entità (la scala delle ascisse è logaritmica).

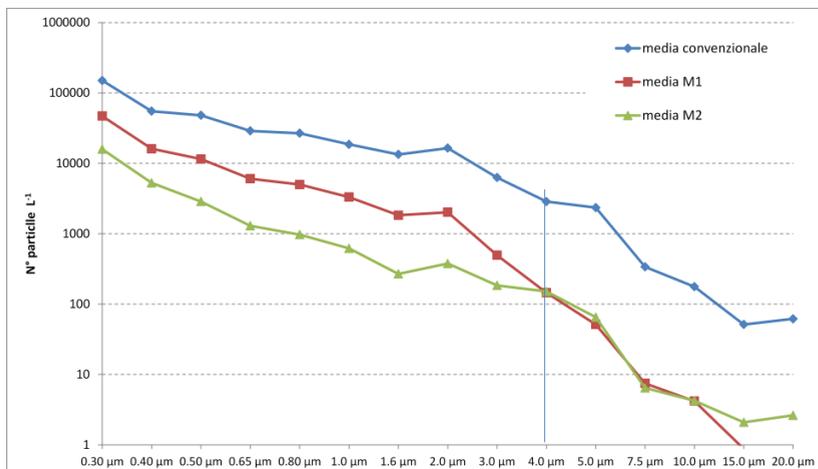


Figura 13 – Valori medi (quattro p.a.) di concentrazione del particolato per classe dimensionale delle particelle. Il campionamento è stato effettuato all’uscita del ventilatore della seminatrice nelle tre configurazioni oggetto del test a punto fisso tramite uno spettrometro laser. Si evidenzia come a partire da 4 μm di diametro aerodinamico, i valori dei prototipi si sovrappongono.

Semina simulata

Obiettivo delle prove era la realizzazione di un sistema in grado di determinare condizioni di prova controllabili e ripetibili per l'osservazione del comportamento delle seminatrici pneumatiche equipaggiate o meno con modifiche atte all'abbattimento delle quantità di polveri da abrasione disperse in ambiente (Pochi et al., 2014).

Tale sistema di prova ha le seguenti finalità:

- determinazione della deriva tramite analisi delle concentrazioni dei diversi principi attivi a terra e nell'aria, a varie distanze dalla seminatrice provata sia in condizioni standard che con le modifiche;
- confronto obiettivo fra diverse macchine, diverse modifiche ecc., premessa per un ipotetico sistema di certificazione delle stesse.

La zona nella quale la prova è stata effettuata doveva essere necessariamente protetta.

Essa è schematizzata nella Figura 14 ed è stata ricavata in un ampio e lungo portico della struttura del CRA-ING avendo cura di chiudere il lato esterno con dei teli.

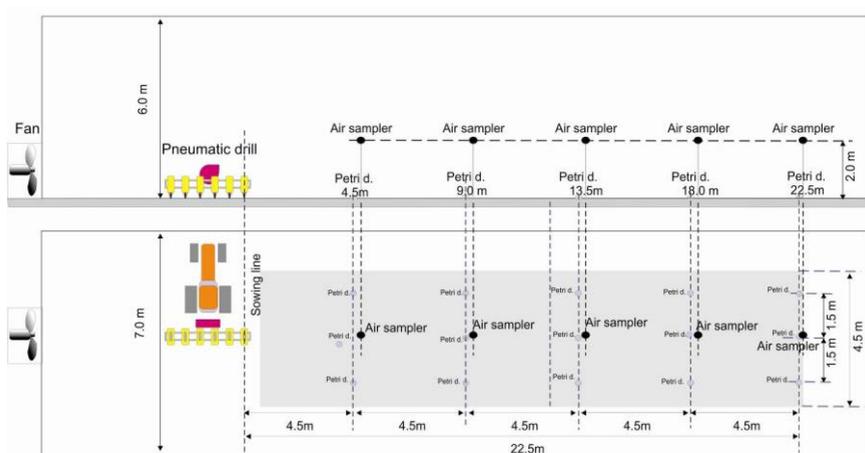


Figura 14 – Schema dell'organizzazione delle prove a punto fisso. Le piastre Petri ed i campionatori d'aria sono stati posti, rispetto al lato destro della seminatrice, su 5 distanze multiple della larghezza di semina (4,5, 9, 13,5, 18 e 22,5 m) su tre file distanti fra loro 1,5 m. Il vento artificiale era creato tramite un ventilatore industriale azionato da un motore elettrico. Il regime di rotazione regolato da un inverter su 1358 rpm è stato adottato per tutte le prove allo scopo di avere condizioni di vento costante.

Lo schema di campionamento a terra ricalca quello proposto nelle prove condotte in campo sia in ambito APENET (attività 2009 e 2010), sia da Syngenta e Bayer (quest'ultima fa riferimento al documento: *BBA Drift Guideline, Part VII, 2-1.1, 1992, "Measuring direct drift when applying liquid plant protection products outdoors"*).

Al suddetto schema sono stati apportati alcuni adattamenti riferiti alle condizioni controllate. Esso prevede il posizionamento di una serie di tre piastre Petri, con una soluzione di acetonitrile e acqua (50:50), per ogni distanza (rilievo della concentrazione di p.a. a terra nella zona sottovento alla seminatrice).

Vicino alle piastre Petri, lungo la striscia centrale è stata anche utilizzata una serie di cinque campionatori d'aria per rilevare le concentrazioni di p.a. nell'aria (ppb) alle cinque distanze di campionamento.

Le distanze adottate per il posizionamento dei campionatori, sono multipli della larghezza di lavoro della seminatrice. Questa scelta ha lo scopo di semplificare l'elaborazione dei dati secondo uno schema di calcolo che fornisce una stima dell'andamento della concentrazione di p.a. che si otterrebbe in campo in condizioni (velocità di lavoro, velocità e direzione del vento) corrispondenti a quelle della simulazione a punto fisso.

Utilizzo dei campionatori d'aria

Essi devono dare indicazioni sulla diffusione nell'aria delle polveri soggette a deriva. Non esiste una metodologia di riferimento specifica per applicazioni in campo agricolo poiché questo genere di rilievi è finalizzato alla valutazione della qualità dell'aria in ambienti di lavoro generalmente di tipo industriale. La norma UNI CEN TR 15547:2007 indica un'altezza di riferimento di 1,7 m, corrispondente a quella media di un operatore che respira in tale ambiente. Volendo avere un'idea più generale del comportamento della polvere nell'aria, è stata adottata un'altezza di 2 m, altezza peraltro comune nel volo delle api. Per il filtraggio dell'aria sono stati utilizzati (come nelle prove in campo) membrane filtranti in PTFE Millipore da a 0,45 μm , con diametro di 47 mm. Il campionamento è stato effettuato impostando i cinque strumenti su una portata d'aria di 15 l min^{-1} .

L'azionamento della seminatrice è stato svincolato dal trattore e realizzato integralmente tramite motori elettrici (Figura 15) che consentono la regolazione fine della velocità di rotazione della ruota motrice (= velocità di avanzamento virtuale) e del valore di depressione all'interno del sistema pneumatico della seminatrice.



Figura 15 – Sinistra: Motore elettrico e inverter per azionare la ruota motrice; Destra: motore elettrico ed inverter per azionare il depressore.

Seminatrice utilizzata nelle prove

È stata utilizzata la stessa seminatrice di precisione pneumatica a sei file (sesto di semina: 0,75 x 0,18 m, 75000 semi ha^{-1}) Gaspardo Magica (Figura 16A) utilizzata nelle prove di campo. Il costruttore aveva fornito la macchina equipaggiata con un sistema di 4 tubi deflettori che, a due a due, convogliano l'aria espulsa dal ventilatore posteriormente ai due assolcatori centrali (Figura 16B e C). Qui la polvere, schermata dai due versoi degli assolcatori, viene indirizzata nel solco e parzialmente ricoperta dal terreno dopo il passaggio. A questo proposito si ricorda brevemente che nelle prove per il progetto Apenet effettuate a punto fisso e in campo nel 2010, l'abbattimento dovuto ai deflettori rispetto alla stessa seminatrice senza deflettori era risultato mediamente del 50%, variando dal 30% al 70% secondo il principio attivo considerato (Biocca et al., 2011; Pochi et al., 2011; Pochi et al., 2012 a).



Figura 16 – A) seminatrice usata nelle prove; B) particolare del ventilatore con bocchetta rivolta verso il basso sulla quale è applicata la modifica di cui sono visibili due dei quattro tubi deflettori; C) due dei quattro tubi deflettori che terminano dietro gli assolcatori.

Inoltre, i valori delle concentrazioni dei p.a. rilevate a terra con la “seminatrice con deflettori” nelle prove di semina in campo sono stati utilizzati dalle U.O. di Bologna (progetto APENET) in una serie di prove condotte sulle api a carico delle quali si sono evidenziati effetti sub-letali. Tuttavia, le quantità di particolato disperso in atmosfera, e pericoloso per le api, risulta di difficile quantificazione e, a tale proposito, Pochi et al. (2012 b) hanno proposto dei metodi per la loro determinazione. La prova di confronto tra seminatrice con deflettori e senza, replicata in campo nelle stesse condizioni operative della macchina, ha evidenziato la possibilità di correlare significativamente i dati di deposito a terra, evidenziando la capacità di previsione del sistema di prove a punto fisso. Un lavoro con i risultati di questo confronto è stato sottoposto ad una rivista scientifica per la pubblicazione.

Prototipi di modifica messi a punto dal CRA-ING

Il prototipo esaminato nelle prove a punto fisso nel 2011 è lo stesso prototipo M1 applicato alla seminatrice Gaspardo Magica, già descritto al punto “Prove in campo” (Figura 1).

Prove di semina simulata

Durante l’esecuzione delle prove a punto fisso con imidacloprid, si sono osservate rilevanti deposizioni a terra di polvere e particelle in prossimità della seminatrice (Figura 17). Questa è stata esaminata attentamente per rilevare i punti di fuoriuscita diversi dal ventilatore centrifugo o dalle modifiche applicate.



Figura 17 - Particelle e polvere da abrasione accumulate sulla superficie sotto la seminatrice in prova in corrispondenza del ventilatore centrifugo.

Sono stati identificati alcuni punti sensibili da cui si hanno massicce perdite di polvere che possono significativamente influenzare il bilancio finale. In particolare si ricorda-

no: 1) la flangia che porta i quattro deflettori d'aria, applicata alla bocchetta di uscita del ventilatore (Figura 18 a sinistra); 2) le finestre d'ispezione dei gruppi distributori (Figura 18 a destra).

Tali punti sono stati sigillati e le prove sono proseguite in tali condizioni. Per quanto riguarda i test già effettuati con l'imidacloprid, sono state effettuate delle verifiche per stimare l'influenza delle perdite rilevate e correggere i risultati ottenuti. Di conseguenza, i dati riportati per questo principio attivo risultano da tali correzioni. Tuttavia sono in linea con l'andamento generale delle altre prove effettuate e più avanti descritte.



Figura 18 - Sinistra: nastro usato per sigillare la zona di applicazione della flangia di supporto dei deflettori sulla bocchetta del ventilatore; destra: nastro applicato alla bocchetta d'ispezione di un distributore. In entrambi i casi è visibile la polvere trattenuta.

L'esperienza condotta nell'esame delle dispersioni dalla seminatrice a partire da punti diversi da quelli dove è ovvio aspettarsi una perdita (ventilatore e bocche di semina) rafforza l'idea che queste macchine andrebbero sottoposte, al pari di altre attrezzature che impiegano prodotti fitosanitari, a test periodici volti a verificarne l'efficienza e la funzionalità. A tale proposito, il CRA-ING ha sviluppato una metodologia di prova (Pochi et al., 2012 c).

Condizioni del vento nell'area di prova (galleria del vento)

I rilievi della velocità del vento in corrispondenza di tutti i punti di campionamento, effettuati a diverse altezze e a più riprese, hanno dato indicazioni positive circa la ripetibilità delle prove e l'uniformità di direzione e velocità dell'aria (Figura 19). In media, la velocità del vento era di $1,8 \text{ m s}^{-1}$, a 2,0 m di altezza (min $1,6$; max $2,5 \text{ m s}^{-1}$).

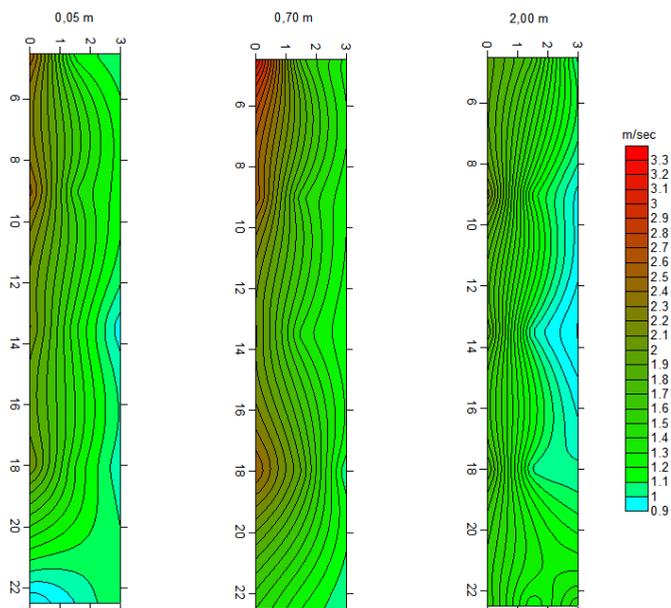


Figura 19 – Mappa del vento nella zona di campionamento a tre diverse altezze (da sinistra a destra, a 5, 70 e 200 cm dal suolo). Sul lato destro dei diagrammi è visibile l'effetto schermante creato dalla seminatrice stessa. Tale schema si ripete costantemente ad ogni prova.

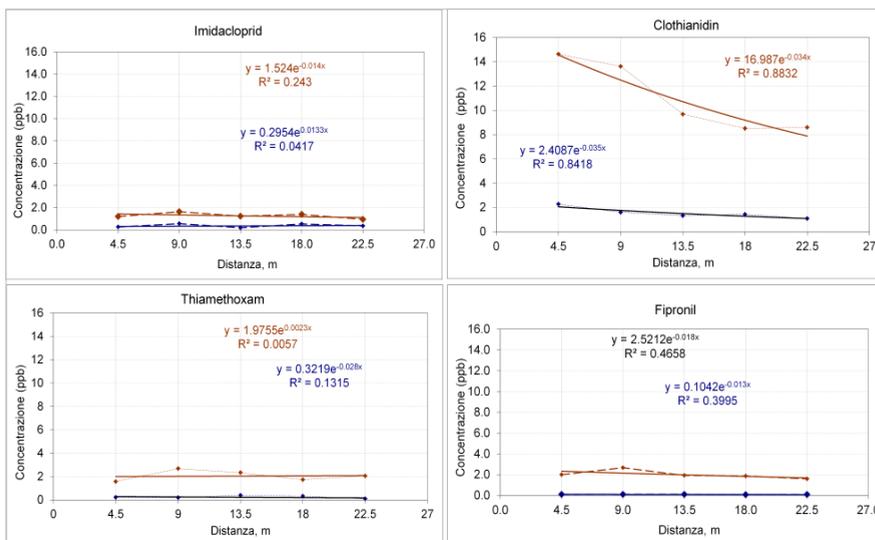
Concentrazioni nell'aria rilevate nelle prove a punto fisso

Le analisi dei filtri dei campionatori d'aria hanno fornito i risultati visibili nei diagrammi di Figura 20.

In tutti i casi è visibile la riduzione determinata dall'utilizzo di M1 (tesi C) rispetto a MNM (tesi A). Nei diagrammi sono anche riportate le curve di regressione con le relative funzioni.

Le riduzioni osservate sono le seguenti:

- clothianidin: 72%;
- clothianidin: 86%;
- thiamethoxam: 90%;
- fipronil: 96%.



Seminatrice convenzionale ———
 Seminatrice con prototipo 2 ———

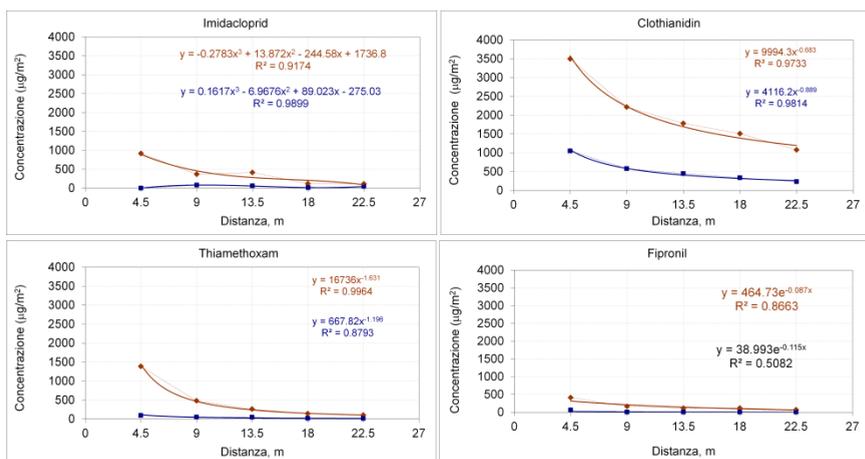
Figura 20 – Prove a punto fisso: andamento delle concentrazioni nell'aria in funzione della distanza.

Un'ulteriore indicazione fornita è che all'aumentare della distanza non si rileva una tendenza alla riduzione della concentrazione, un fenomeno già osservato in precedenti esperienze (Biocca et al., 2011; Biocca et al., 2014). Ciò è probabilmente dovuto al fatto che la frazione più sottile di polvere ha una maggiore persistenza nell'aria e raggiunge distanze maggiori. A conferma di ciò si noti il diagramma del clothianidin (anomalo rispetto agli altri) in cui per MNM si ha una concentrazione molto elevata e un andamento decrescente, indice della progressiva deposizione delle particelle più grandi. L'abbattimento determinato dall'intervento di M1 determina un significativo appiattimento della curva: le particelle più grandi sono trattenute dal sistema di filtrazione del dispositivo e la frazione più sottile si comporta in modo analogo a quello degli altri tre principi attivi.

Deposizioni a terra rilevate nelle prove a punto fisso

In Figura 21 sono riportati i diagrammi delle deposizioni a terra per i quattro principi attivi e l'osservazione e la messa a punto di particolari sull'impiego dei prototipi è proseguito per tutta la durata delle prove. In seguito all'elaborazione dei dati (analogamente a quella descritta precedentemente, con l'integrazione sulla distanza delle curve di regressione) si sono rilevati i seguenti abbattimenti:

- clothianidin: 95%;
- clothianidin: 74,4%;
- thiamethoxam: 88,6%;
- fipronil: 94,8%.



— Seminatrice convenzionale
— Seminatrice con prototipo 2

Figura 21 – Prove a punto fisso: deposizioni a terra ($\mu\text{g m}^{-2}$) nell'area di prova in funzione della distanza.

Nei diagrammi sono riportate anche le curve di regressione e le relative funzioni. Si ricorda che le quantità di principio attivo osservate sia a terra che in aria sono molto elevate in quanto derivano da una simulazione di semina su un'area di prova con superficie limitata che riceve una quantità di polvere che in campo aperto sarebbe dispersa su una superficie molto maggiore. In tale contesto, le curve di regressione riportate nei diagrammi sono d'aiuto nell'individuazione di modelli che consentano di prevedere la distribuzione teorica in campo a partire dal quanto osservato nelle prove simulate in condizioni controllate.

Soluzioni per la sicurezza delle operazioni di manipolazione dei semi

Nell'ambito del progetto INTRAC, al fine di ridurre l'eventuale esposizione dell'operatore alle polveri di abrasione dei semi conciati, sono stati messi a punto due innovativi sistemi di caricamento. Tale parte di progetto nasce dalla considerazione che solo attraverso un approccio integrato al problema si possa giungere a una migliore risoluzione della problematica esposta.

Il primo dei due sistemi innovativi prevede l'adozione di sacchetti per il confezionamento del seme i quali, al momento del caricamento, assumono una forma ad imbuto (Figura 22) che si adatta perfettamente ad una apertura circolare realizzata sul coperchio della tramoggia. Al termine dell'operazione l'apertura è chiusa con un tappo e la fuoriuscita di polvere è minimizzata. La scelta di opportuni materiali consentirebbe di realizzare sacchetti riutilizzabili più volte, riducendo i costi per il loro acquisto e lo smaltimento come rifiuti speciali.

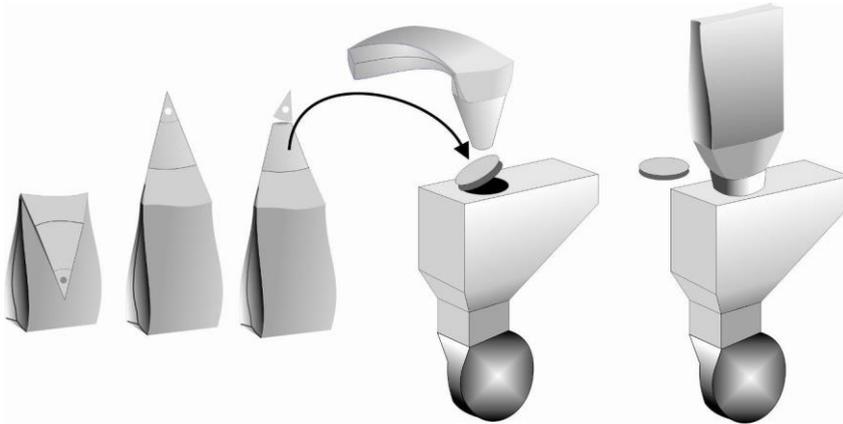


Figura 22 - Schema di funzionamento dei sacchetti-imbuto.

Il secondo sistema presuppone delle modifiche alla filiera produttiva che va dallo stabilimento sementiero all'agricoltore passando per il costruttore di seminatrici.

È basato sull'impiego di tramogge ricaricabili indefinitamente (Figura 23). Il seme conciato viene confezionato in tali tramogge che sono chiuse ermeticamente e fornite all'agricoltore nella quantità richiesta.

Al termine della semina sono restituite allo stabilimento per l'uso successivo. Le tramogge si adattano ai gruppi distributori del seme. Una volta vuotata una tramoggia, essa viene sostituita sul gruppo con una piena.

La sua apertura a strappo determina la caduta del seme direttamente nel distributore senza emissione di polvere all'esterno. Naturalmente le seminatrici debbono avere sedi standard o degli adattatori in grado di alloggiare le tramogge ricaricabili. In tal modo sono eliminati i sacchetti ed i problemi connessi con il loro smaltimento.

Per tale soluzione il CRA ha depositato domanda di brevetto per invenzione industriale (Pochi et al., 2012 d).

Le soluzioni appena descritte potrebbero trovare utile impiego in tutti i casi che prevedono la manipolazione di materiali incoerenti e la potenziale esposizione degli operatori alle polveri da essi generate e alle sostanze chimiche di vario genere in esse contenute.



Figura 23 - Tramogge ricaricabili. A sinistra: schema del dispositivo (“A”: Tramoggia ricaricabile; “B”: Linguetta per la chiusura/apertura di A; “C”: sede per l'alloggiamento di A, conformata per il passaggio di B; “D”: finestre per ispezionare il livello del contenuto di A; “E”: apertura per accogliere tubi per il ricircolo dell'aria; “F”: tubi per il ricircolo dell'aria; “G”: apertura per l'inserimento di un agitatore o, in caso di necessità, di prodotto confezionato in sacchetti; “H”: agitatore per favorire la discesa del seme in caso di necessità; “I”: generico gruppo di distribuzione del contenuto di “A”; “M”: Maniglie per agevolare la movimentazione di A. A destra: prototipo di tramoggia (in verde) montato su seminatrice, in esposizione a EIMA 2012.

Trattamento termico

Tra le soluzioni previste dal progetto si è annoverata la possibilità della distruzione dei prodotti insetticidi dispersi dalla seminatrice attraverso il trattamento delle polveri ad alta temperatura. È stato progettato, testato e brevettato (Pochi et al., 2010) un sistema che ha previsto il convogliamento dell'aria espulsa dalla seminatrice direttamente all'interno del motore del trattore che traina la macchina (Figura 24). Un apposito condotto in plastica canalizza l'aria del ventilatore della seminatrice dentro la camera di aspirazione dell'aria del motore. I test effettuati hanno dimostrato che non sussistono problemi legati al corretto funzionamento del motore con la modifica apportata. Inoltre, si sono superate le difficoltà tecniche derivanti dal montaggio del tubo di aspirazione tra la seminatrice (portata) e il trattore. Non sono state svolte analisi chimiche sulle emissioni del motore alimentato con l'aria della seminatrice in quanto il progetto non prevedeva le necessarie competenze specialistiche per effettuare tale indagine.



Figura 24 – Test relativi al montaggio del condotto dalla seminatrice al motore del trattore. A sinistra, rilievi della portata dell'aria; a destra, tubo di alimentazione dell'aria.

Attività in corso

A seguito della sospensione dell'uso dei quattro prodotti insetticidi impiegati per la concia delle sementi (imidacloprid, clothianidin, thiamethoxam e fipronil), le ditte sementiere impiegano attualmente altri prodotti per il trattamento del seme. In particolare, il mais viene conciato con il nenicotinoide thiacloprid, sul quale si intende ripetere alcune esperienze già realizzate con gli altri principi attivi. Pertanto il CRA-ING ha svolto, nel 2014, una prova di semina in campo, su parcelle di circa 2 ha, ponendo a confronto la macchina seminatrice tradizionale con quella dotata del dispositivo M2 (Figura 25). I rilievi hanno previsto un campionamento maggiore che nel passato, con il campionamento dell'aria che prevedeva cinque campionatori (sempre dotati di membrane filtranti in PTFE), disposti sul lato sottovento alla semina, alle distanze di 5 m (2 pompe), 10 m (2 pompe) e 20 m (una pompa) dal bordo del campo. Invece, per quanto riguarda i campionatori passivi a terra (piastre Petri), questi sono stati disposti in numero di 15 per ciascun lato della parcella, su tre file (a 5, 10 e 20 m), ottenendo un totale di 60 punti di campionamento a terra per prova. Infine sono stati monitorate le polveri in prossimità e dentro la cabina di guida, tramite tre campionatori personali, di cui uno dotato di testa di taglio Dorr-Oliver. I risultati non sono disponibili in quanto le analisi chimiche dei residui (a cura di CRA-PAV) non sono ancora terminate.



Figura 25 – I filtri (parte interna) dopo le prove con thiacloprid. A sinistra, filtro elettrostatico; a destra, filtro APF. Su entrambi il deposito della polvere di seme conciato.

Bibliografia

- 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. Online su: <http://www.reterurale.it/apenet>.
- Biocca M., Conte E., Pulcini P., Marinelli E., Pochi D. 2011. Sowing simulation tests of a pneumatic drill equipped with systems aimed at reducing the emission of abrasion dust from maize dressed seed. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 46 (6): 438–448.
- Biocca M., Fanigliulo R., Gallo P., Pulcini P., Perrino C., Pochi D. 2014. Assessing dust drift from dressed seeds by air sampling. *Aspects of Applied Biology* 122, International Advances in Pesticide Application, 103-111.
- Dowling K.C., Seiber J.N. 2002. Importance of Respiratory Exposure to Pesticides Among Agricultural Populations. *Intl. J. of Toxicology* 21, 371-381.
- ESA STAT Dust Working Group 2011. Assessment of free floating dust and abrasion particles of treated seeds as a parameter of the quality of treated seeds. Heubach test. Version: 1.0. ESA European Seed Association aisbl.

- Jensen J. K. 1984. The assumptions used for exposure assessment. In Determination and assessment of pesticide exposure. Studies in environmental science 24, ed. M. Siewierski, 147–152. Amsterdam: Elsevier.
- Pochi et al. 2010. Brevetto nazionale RM2010A000465 del 2010-09-02 e PCT/IB2011/053736 2011-08-25. Dispositivo e procedimento di riduzione della dispersione nell'ambiente di polvere da abrasione di sementi conciate da parte di seminatrici pneumatiche di precisione. Referente: Daniele Pochi.
- Pochi D., Biocca M., Fanigliulo R., Conte E., Pulcini P. 2011. Evaluation of insecticides losses from dressed seed from conventional and modified pneumatic drills for maize. *J. of Agricultural Machinery Science* 7(1) 61-65.
- Pochi D., Biocca M., Fanigliulo R., Fedrizzi M., Conte E., Pulcini P., Grilli R., Gallo P., Imperi G. 2012 a. Deriva di polveri durante la semina del mais conciato e mezzi di contenimento. *Atti Giornate Fitopatologiche* 2, 51-58.
- Pochi D., Biocca M., Fanigliulo R., Pulcini P., Conte E. 2012 b. Potential exposure of bees, *Apis mellifera L.*, to particulate matter and pesticides derived from seed dressing during maize sowing. *Bulletin of Environ. Contamination and Toxicology*. 89 (2) 354–361 DOI : 10.1007/s00128-012-0664-1.
- Pochi D., Biocca, M., Fanigliulo R. 2012 c. Proposal of an inspection methodology for pneumatic drills. Fourth European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe - SPISE 4, Julius-Kühn-Archiv. ISBN 978-3-930037-93-3 ISSN 1868-9892
- Pochi et al. 2012 d. Brevetto nazionale RM2012A000522. Data deposito 30/10/2012 presso UIBM. Apparecchiatura agricola per lo stoccaggio e la distribuzione di materiale incoerente. Referente: Daniele Pochi, CRA-ING.
- Pochi D., Fanigliulo R., Gallo P., Biocca M. 2014. Assessment of dust drift from pneumatic drills in static tests. In: C. Belviso, S. Fiore and M.L. Giannossi (Editors) Intl. Conf. on Atmospheric Dust, DUST 2014, Castellaneta Marina, Italy. Digilabs Pub., Bari, Italy, pp. 342, ISBN 978-88-7522-095-2.
- Wolf T. M., Gallander K.S., Downer R. A., Hall F.R., Fraley R. W., Pompeo M. P. 1999. Contribution of aerosols generated during mixing and loading of pesticides to operator inhalation exposure. *Toxicology Letters*, 105 31–38.

Capitolo 4

Studio del profilo del suolo agrario per l'analisi degli scambi di forze con il trattore agricolo

Maurizio Cutini, Carlo Bisaglia

CRA-ING, Treviglio (BG)

Sommario

Il presente capitolo illustra la prima parte dei risultati del Work Package (WP) 3 del progetto INTRAC inerente lo studio del profilo dei suoli coltivati come sorgente di vibrazioni. Le statistiche inerenti la sicurezza sul lavoro hanno evidenziato una tendenza alla diminuzione degli infortuni e delle morti ma, negli ultimi 5 anni, è stato osservato un incremento medio delle denunce di malattie professionali del 36%, tuttavia nella sola agricoltura tale crescita è stata del 383%. Non è immediato associare questi numeri a cause specifiche ma di certo mostrano che l'interesse circa le malattie professionali è in crescita. In questa circostanza sono considerate le vibrazioni meccaniche, tra le quali le vibrazioni al corpo intero (WBV) il cui effetto è funzione dell'intensità, della durata e della frequenza e che possono riguardare anche gli operatori di trattori agricoli. La Direttiva del Parlamento Europeo 2002/44/EEC stabilisce le prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti da vibrazioni meccaniche che, inoltre, sono riportate anche sul Testo Unico sulla salute e la sicurezza sul lavoro, approvato nel Decreto n. 81/2008. Anche per gli operatori agricoli il rischio da vibrazioni dipende principalmente dall'ampiezza e dal tempo di esposizione (Scarlett, 2007; Cutini, 2012; Nguyen, 2011; Sherwin, 2004; Seidel, 1986). Se l'operatore svolge operazioni che coinvolgono differenti trattori o attrezzi il tempo di esposizione è la somma del tempo necessario ad ogni singola operazione. Ad esempio, studi hanno dimostrato che il livello di esposizione è dipendente dalle dimensioni dei campi e dalla loro distanza dall'azienda. La tematica è, inoltre, in evoluzione in quanto è influenzata dallo sviluppo tecnologico dei trattori, in particolare il continuo aumento di potenza. A questo è corrisposto una maggiore capacità di lavoro che, in particolare nel fattore velocità, ha l'effetto di esporre al rischio di vibrazioni gli operatori e di incrementare gli scambi di sollecitazioni tra operatrice e trattore. Per contro sono in continua evoluzione anche le soluzioni tecniche per migliorare il comfort dell'operatore. Gli studi in questo settore sono, generalmente, tesi a studiare gli aspetti legati alle dinamiche del veicolo, il comfort dell'operatore, le caratteristiche e l'efficacia dei dispositivi di smorzamento ed a sviluppare e comparare modelli. Ma il profilo del suolo non viene analizzato come ci si potrebbe aspettare. Le cause sono molteplici, prima di tutto la difficoltà della misura, essendo il suolo deformabile, ed inoltre l'ampiezza dello scambio di forze tra pneumatici e superficie cambia con la velocità del veicolo ed il suo allestimento.

Questa ricerca ha l'obiettivo di identificare un profilo di suolo che risulti rappresentativo di situazioni non confortevoli per l'operatore o che induca problemi di resistenza a fatica dei trattori, dei loro componenti o delle operatrici. Diverse superfici di terreno, differenti come composizione, rugosità, durezza e contenuto in scheletro, sono state

riprodotte in laboratorio dopo averle acquisite con trattori in diversi allestimenti e velocità di avanzamento.

Introduzione

La combinazione dell'irregolarità del terreno con la velocità di avanzamento è la più importante causa dell'insorgenza di vibrazioni trasmesse al guidatore dei trattori agricoli, al veicolo (Bukta, 2002), alle eventuali operatrici portate ed ha anche un impatto sulla qualità del lavoro (Bisaglia et al., 2006). Il terreno agisce come forzante sotto gli pneumatici che, assieme al sedile, hanno da sempre rappresentato il principale elemento per l'attenuazione delle vibrazioni meccaniche. Tuttavia, la loro risposta influenza anche la risposta in frequenza dell'intero veicolo. Questo dipende anche da fattori quali il carico, le caratteristiche elastiche degli elementi di sospensione, la pressione di gonfiaggio e la deformazione del suolo (Nguyen et al., 2011; Sherwin et al., 2004; Park et al., 2004; Taylor et al., 2000). Difatti, la ruota può essere modellata come una serie di molle radiali contigue che sono compresse quando entrano in contatto con il suolo e si estendono al distacco (Witzel et al. 2011; Pacejka, 2010), di conseguenza sono molti gli studi diretti alle proprietà degli pneumatici, ai sistemi di smorzamento ed alle loro interazioni. Ma proprio in quest'ottica è necessario analizzare la forzante, intesa come l'effetto della superficie sul veicolo, ovvero gli spostamenti o le accelerazioni che agiscono nella parte di contatto tra il suolo e le ruote. Il suolo agrario ha una deformazione non lineare, un comportamento visco-elastico-plastico (EC 2005) le cui caratteristiche dipendono da diversi parametri (tipo di coltivazione, storia della lavorazione, tessuto, residui organici, umidità e capacità di drenaggio, ecc.), di conseguenza il tracciare il profilo del terreno non è sufficiente per determinare lo scambio di forze che si avrà con il veicolo. A tal fine potrebbe risultare conveniente misurare le forze ai mozzi ma ciò considererebbe anche il contributo degli pneumatici. La definizione del profilo del suolo risulta, quindi, oggettivamente difficoltosa e, comunque non terrebbe in considerazione le deformazioni dovute al passaggio dello specifico veicolo. L'approccio più comune (Anthonis, et al. 2007; Bisaglia et al., 2006) consiste in una metodologia di deconvoluzione tramite iterazioni. Durante il test in campo le accelerazioni sono misurate in specifici punti del veicolo, di solito i mozzi, poi il trattore è posto su un banco elettroidraulico e gli attuatori sono mossi con l'intento di creare, tramite una deconvoluzione, i segnali d'ingresso che inducano gli stessi segnali misurati in campo. In pratica i piattelli si muovono per ricreare ai mozzi le stesse accelerazioni misurate in campo. Il presente lavoro introduce l'esperienza di dieci anni di ricerca con l'obiettivo d'identificare un profilo di suolo rappresentativo. Una prima esperienza con un solo trattore era stata effettuata nel 2009 (Cutini et al., 2010).

Questo ha permesso anche di investigare le dinamiche caratterizzanti le situazioni non confortevoli per l'operatore ed i problemi di resistenza a fatica del trattore, dei dispositivi e delle operatrici portate. Difatti, i principali studi del Laboratorio di Treviglio in ambito vibrazioni riguardano:

- il comfort degli operatori agricoli;
- la caratterizzazione delle componenti elastiche (pneumatici, sospensioni, supporti cabina);
- test di fatica sui componenti dei trattori agricoli;
- test di fatica sulle operatrici.

Dodici situazioni sono state selezionate per l'analisi tra quelle non confortevoli o che potessero introdurre problemi di fatica meccanica sui materiali. Sono state misurate su superfici differenti come durezza e composizione, guidando a differenti velocità con diversi trattori ed in diversi allestimenti (massa, pressione di gonfiaggio degli pneumatici).

Materiali e metodi

Il metodo di deconvoluzione iterativa (ID) (Soderling et al., 1999) è una tecnica di controllo computerizzata che rende possibile riprodurre in laboratorio la risposta del veicolo, o di componenti, misurata durante un rilievo in condizioni operative su strada o su campo. L'obiettivo è ottenere il segnale di controllo degli attuatori del banco (drive signals), cioè il loro spostamento, che riproduca la dinamica verticale del veicolo misurata nelle desiderate condizioni operative. Essendo nota la risposta da riprodurre, poiché misurata, viene sviluppato un modello del veicolo nel quale gli ingressi sono gli spostamenti degli attuatori e le uscite le accelerazioni degli stessi punti di misura utilizzati nel rilievo. Ciò consentirebbe, in un ideale sistema elastico lineare, il calcolo delle funzioni d'ingresso ai piattelli, tuttavia la ID si basa sull'obiettivo di ridurre la differenza tra il segnale desiderato ed il riprodotto tramite la misura della matrice di risposta in frequenza (FRF) dell'allestimento in prova e degli errori misurati nella precedente iterazione. Durante il test di laboratorio viene usato il software Remote Parameter Control (RPC[®]) della MTS Systems Corporation. Il segnale di drive ottenuto con questa procedura può essere considerata un'approssimazione del profilo della superficie del campo che ha determinato la dinamica misurata sul veicolo.

I seguenti passaggi riportano una sintesi della procedura:

- registrazione dei dati in campo. Per registrare i dati in campo gli accelerometri sono posti sul componente o sul veicolo in luoghi prossimi all'ingresso delle forze. Questi sensori misurano spostamenti, deformazioni o accelerazioni. I dati possono essere misurati in analogico od in digitale. Il numero dei trasduttori usati per l'acquisizione dei dati può eccedere il numero dei canali di controllo del simulatore;
- trasferimento dei dati registrati al PC. I dati registrati vengono trasferiti ad un PC, analizzati e modificati nei formati richiesti;
- misura della funzione di trasferimento del sistema: "response". Viene generato un segnale random al fine di misurare la risposta negli stessi punti utilizzati durante l'acquisizione in campo per generare il modello;
- calcolo dell'iniziale segnale di "drive". Essendo in possesso del segnale da riprodurre e del modello del trattore, durante questa fase viene calcolato il segnale di "drive" stimato;
- $\text{desired signal} \times \text{FRF}^{-1} \times \text{gain} = \text{initial drive estimate}$, con $0 < \text{gain} < 1$;
- esecuzione delle iterazioni. Poiché il trattore in prova è un sistema non lineare vengono eseguite iterazioni fino all'ottenimento del segnale desiderato. Il processo di iterazione, nelle sue ripetizioni, misura l'errore tra la presente e la desiderata time history ed utilizza le informazioni per correggere il segnale successivo. Il risultato è un segnale di "drive";
- test (es. fatica, validazione o settaggio di elementi di sospensione). Il segnale di "drive" ottenuto viene usato come segnale d'ingresso per i test desiderati.

Le condizioni sperimentali ed i relativi codici adottati nel seguito della trattazione sono state definite dall'adozione di:

- sei differenti trattori (indicati nel presente documento con T_i): erano 4WD e del tipo “campo aperto” con potenza da 70 a 200 kW. I test sono stati condotti anche con operatrici portate;
- sette differenti superfici (indicati con S_i): terreno inerbito; suolo per orticoltura; campo con elevata percentuale di scheletro; passaggi in direzione ortogonale alla semina del frumento; ortogonale alla direzione di semina del mais e strada poderale. I terreni utilizzati erano differenti per rugosità (da 0 a 70 mm) e durezza (da 0.8 a 4MPa, a parte la strada poderale; ASAE EP 542 FEB99; ASAE S313.3 FEB04);
- cinque differenti velocità di avanzamento (test code V_i): 7, 9, 11, 13, 18 km/h.

Tali condizioni sono state riprodotte presso il laboratorio di vibrazioni del CRA-ING. Il banco elettroidraulico, four poster, è stato progettato specificatamente per veicoli sino a 15 t con basse velocità di avanzamento in fuori strada, quali i trattori agricoli. La struttura è composta da quattro attuatori servo-idraulici, con possibilità di regolazione in passo e carreggiata, con quattro piattelli su cui è posto il veicolo gommato (Figura 1).



Figura 1 - Il banco “four poster” usato per la riproduzione delle dinamiche registrate (il trattore in foto è solo d’esempio).

Il tutto è posizionato su di una massa sismica del peso di 408 t, isolata dal suolo tramite molle pneumatiche (Figura 2).



Figura 2 - Gli attuatori del banco four poster.

Sono presenti, inoltre, una centrale idraulica, un’unità di controllo ed un’interfaccia PC. Ogni attuttore è controllato in posizione (fino ad una frequenza di 100 Hz ed un’ampiezza di oscillazione di 250 mm) ed eccita una ruota del veicolo in direzione verticale. Gli spostamenti degli attuatori sono misurati attraverso trasduttori LVDT. Nelle condizioni operative di campo, i trattori sono stati strumentati con quattro accele-

rometri piezo-elettrici monoassiali (con un range di misura di ± 50 g ed una sensitività di 100 mV/g) per misurare l'accelerazione verticale dei mozzi delle ruote. Altri quattro accelerometri (range di ± 50 g e sensitività di 100 mV/g) ed i quattro LVDT degli attuatori sono utilizzati per la riproduzione dei segnali in laboratorio. E' stata, inoltre, realizzata nell'ambito di INTRAC, una pista a risalti a norma ISO 5008:2012 per la generazione di impulsi standard (Figura 3), i cui dati hanno contribuito alla definizione del presente studio, ma che saranno oggetto di prossime pubblicazioni.



Figura 3 – La pista a risalti ISO 5008:2012 del CRA-ING di Treviglio realizzata nell'ambito del Progetto INTRAC.

Al fine di valutare l'accuratezza e le prestazioni dei segnali ottenuti durante il test di laboratorio, il segnale desiderato misurato durante il test viene comparato con quello ottenuto negli stessi punti al banco. A tal fine, l'analisi condotta è la radice quadratica media (RMS) dell'accelerazione ai mozzi. L'errore quadratico medio (RMSE) tra il misurato ed il riprodotto è l'indice di quanto sia differente il segnale desiderato dal riprodotto; le iterazioni tendono a far convergere i due segnali e con il loro ripetersi l'RMSE diviene sempre inferiore in una scala da 100 a 0. L'RMSE ottenuto era in tutti i test compreso tra 10 e 20 garantendo il desiderato livello di simulazione. Una volta completate le riproduzioni, è stata effettuata un'analisi in frequenza dei segnali d'ingresso. Lo spettro del segnale è stato calcolato usando l'auto spectral density (ASD). In questo lavoro sono state analizzate dodici storie temporali che sono state selezionate tra le situazioni che danno un significativo livello di sollecitazione al veicolo. Questo può essere definito, ad esempio da un livello di esposizione dell'operatore >0.5 m/s^2 (ISO 2631/1997) o quando la time history è stata sviluppata per test di fatica.

Risultati e discussione

Nonostante la variabilità delle condizioni di prova, l'analisi dell'andamento spettrale delle time history riprodotte ha mostrato sempre lo stesso andamento. In particolare gli spettri presentano un elevato livello di energia a frequenze comprese tra 0.4 ed 1.2Hz. Questo può essere spiegato considerando il movimento laterale del trattore che durante la riproducibilità è identificabile in un rollio indotto dallo spostamento verticale. Difatti tali frequenze non vengono poi misurate nei canali verticali dell'operatore e della cabina e si ritengono, nell'ordine di 1-1.2 Hz, in parte dovute alla rigidità laterale degli pneumatici posteriori. Tuttavia tale ampiezza se venisse considerata in termini di accelerazione risulterebbe trascurabile sino a 0.8 Hz e comunque modesta a confronto con il contenuto in accelerazione misurato dai 2 ai 4 Hz. Il secondo maggior contributo in ampiezza in funzione della frequenza è dato dalla fascia compresa tra i 2 ed i 4 Hz.

Questo contributo è spiegato dal fatto che si tratta delle frequenze di risonanza caratteristiche degli pneumatici agricoli. Il fenomeno si può interpretare considerando che la disuniformità del profilo del suolo sollecita gli pneumatici agendo come una serie di impulsi il cui risultato è una serie di risposte in frequenza degli pneumatici e degli altri elementi elastici. L'effetto è un movimento del veicolo verticale, di rollio e di beccheggio. L'ampiezza di tali risposte del veicolo è determinata dal livello di sollecitazione che risulta, principalmente, funzione della combinazione tra velocità di avanzamento e rugosità della superficie. Tuttavia l'ampiezza della risposta è influenzata anche dalle condizioni di allestimento del veicolo quali pressione di gonfiaggio degli pneumatici, massa e distribuzione delle stesse. In generale, a parità di condizioni superficiali, la condizione meno confortevole è di trattore scarico e con pneumatici ad alta pressione (es. 1.6 bar). Le risonanze attorno agli 8–11 Hz corrispondono ai modi di vibrare della cabina (dipende dal sistema di sospensione della cabina, queste frequenze sono tipiche dei silent-block). In ogni test si nota un crescere dell'energia in funzione della velocità a cui corrisponde, di conseguenza, un peggior comfort. Si può inoltre considerare che, a parità di rugosità superficiale, un terreno soffice è più confortevole. Tuttavia il risultato più importante, come accennato, rimane che gli spettri hanno sempre lo stesso andamento in frequenza. Questo è particolarmente evidente con riferimento alle figure 3 e 4 dove vengono riportati gli spettri (ASD) dello spostamento, rispettivamente, dei piattelli anteriori e posteriori che rappresentano lo spettro dei profili del suolo. L'ordinamento condotto con il metodo dell'Analisi multivariata delle Componenti Principali (PCA) sui dati degli spettri dei piattelli frontali mostra che la PC1 spiega il 94% della varianza. I pesi della PC1 sono caratterizzati principalmente dalle frequenze da 0.6 a 1.6 Hz e da 3.2 a 4.4 Hz. La PC2 spiega il 3.9% ed è caratterizzata dalle frequenze tra 1 e 3 Hz.

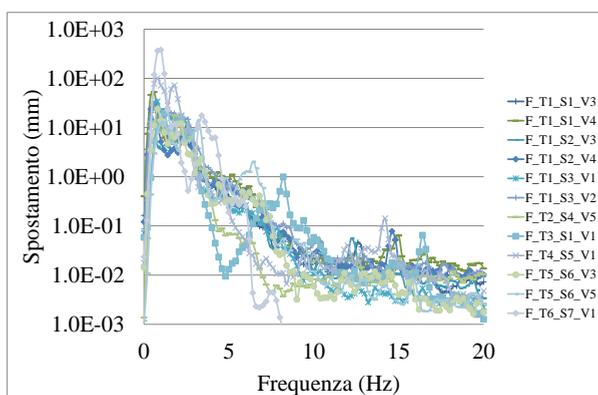


Figura 3 - Gli spettri (ASD) dello spostamento dei piattelli anteriori

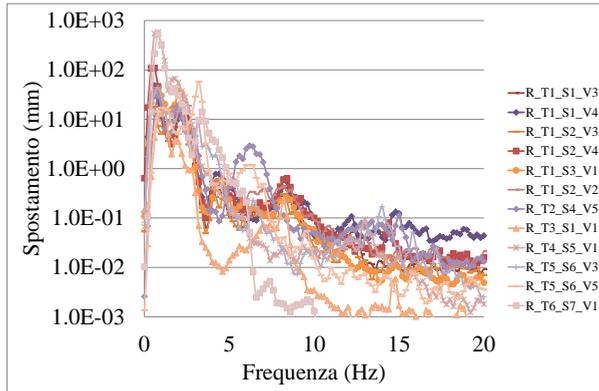


Figura 4 - Lo spettro (ASD) dello spostamento dei piattelli posteriori

La divisione in gruppi (Paired Group; Euclidean distance), mostra i seguenti cinque gruppi:

- 1) F_T1_S1_V1; F_T1_S1_V2; F_T1_S2_V1; _T1_S2_V2; F_T2_S2_V3; F_T1_S2_V4
- 2) F_T1_S1_V3; F_T1_S1_V4; F_T1_S1_V5; F_T1_S2_V5; F_T1_S3_V1; F_T1_S3_V2; F_T1_S3_V3;
- 3) F_T2_S4_V6; F_T3_S1_V2; F_T5_S6_V4; F_T5_S6_V6
- 4) F_T4_S5_V2
- 5) F_T6_S7_V2

La condizione F_T6_S7_V2 è stata sviluppata per una prova di fatica su un'operatrice combinata e questo spiega la notevole distanza dalle altre condizioni (Euclidea: 520).

La condizione F_T4_S5_V2 è il passaggio di un trattore di 200 kW su una strada podereale in cattivo stato di manutenzione, la conseguenza è una sollecitazione di elevate ampiezza e bassa frequenza. Per questa ragione anche questa risulta distante dagli altri gruppi (Euclidea: 160).

I gruppi 1, 2 e 3 sono compresi in una distanza <60.

Rianalizzando i dati tramite la PCA senza considerare le condizioni F_T4_S5_V2 e F_T6_S7_V2, i risultati divengono:

- PC1 spiega il 53% della varianza ed è caratterizzato da frequenze fra 0.4-2.2 Hz.
- PC2 spiega il 30% della varianza ed è caratterizzato da frequenze fra 0.6-2.6 Hz.
- PC3 spiega il 7% della varianza ed è caratterizzato da frequenze fra 1.2-3.2 Hz.

Di conseguenza è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- considerando la medesima superficie, aumentando la velocità di avanzamento si ha un incremento dell'ampiezza degli spettri su tutte le frequenze;
- differenti superfici mostrano spettri simili. La PSD è più alta a basse frequenze (<4 Hz) e tra 4 Hz e 10-12 Hz le componenti spettrali sono meno rilevanti. Oltre i 10-12 Hz diventano trascurabili.

Conclusioni

L'obiettivo di questa fase della ricerca era l'individuazione di un profilo di suolo che risultasse rappresentativo per la definizione degli scambi di forze che si creano al passaggio di un trattore agricolo. Le condizioni d'interesse avrebbero, comunque, dovuto

riguardare situazioni non confortevoli per l'operatore o dovuto creare problemi di resistenza a fatica di dispositivi di trattori agricoli. A tal fine sono stati ricostruiti gli spostamenti verticali delle zone di contatto tra pneumatico e suolo assunto come il profilo agente sotto gli pneumatici. I risultati hanno mostrato che cambiando superficie agraria e velocità di avanzamento l'andamento degli spettri in frequenza dei profili del suolo ottenuti è sempre simile. Presentano un'elevata ampiezza a frequenze inferiori a 4 Hz, quindi decrescono rapidamente e tra 4 Hz e 10-12 Hz risulta di ampiezza molto inferiore. Dopo i 12 Hz le componenti spettrali sono piatte ed il segnale può considerarsi trascurabile. Questo risultato sembra indicare che la combinazione tra rugosità del suolo e la velocità di avanzamento influenzano l'ampiezza della sollecitazione agente sul trattore mentre la frequenza di tale sollecitazione dipende dalle parti elastiche del veicolo, principalmente degli pneumatici. La conseguenza è la possibilità di semplificare notevolmente lo sviluppo di prove di fatica in laboratorio e di ottimizzare lo sviluppo di sospensioni ai fini del comfort in quanto consentirebbe di non considerare il lavoro del trattore agricolo estremamente eterogeneo come ambiente ed attività.

Bibliografia

- Anthonis J., et al. 2007. Feedback Approach for Reproduction of Field Measurements on a Hydraulic Four Poster. *Biosystems Engineering* 96(4): 435-445.
- ASAE EP542 FEB99. Procedures for using and Reporting Data Obtained with the Soil Cone Penetrometer.
- ASAE S313.3 FEB04. Soil Cone Penetrometer.
- Bisaglia C., Cutini M., Gruppo G. 2006. Assessment of vibration reproducibility on agricultural tractors by a four poster test stand. *Proc. XVI CIGR EurAgEng 2006*. Bonn, Germany, 1-6.
- Bukta A. J., Sakai K., Sasao A., Shibusawa S. 2002. Free play as a source of non-linearity in tractor-implement systems during transport. *Applied Engineering in Agriculture* 45(3): 503-508
- Cutini M., Romano E., Bisaglia C. 2012. Assessment of the influence of the eccentricity of tires on the whole body vibration of tractor drivers during transport on asphalt roads. *J. of Terramechanics* 49(3-4).
- Cutini M., Bisaglia C., Bertinotti S. A. 2010. Power spectral analysis of agricultural field surface. *XVII World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystem Engineering*, 13-17 June, Quebec City (Canada)
- Decreto Legislativo n. 81, Testo Unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, 9 April 2008.
- European Commission. 2005. *Soil Atlas of Europe*, European Soil Bureau Network. Office for Official Publications of the European Communities. L-2995 Luxembourg : s.n., 2005. p. 128.
- European Directives, 2002. Directive 2002/44/EC, Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration), *Official Journal (L177)*: 0013-0020.
- ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirement.
- Nguyen V. N., Inaba S. 2011. Effects of tire inflation pressure and tractor velocity on dynamic wheel load and rear axle vibrations. *J. of Terramechanics* 48: 3–16.
- Pacejka H. B. 2010. *Tyre and vehicle dynamics*. Oxford, Butterworth Heinemann.

- Park S., Popov A.A., Cole D.J. 2004. Influence of soil deformation on off-road heavy vehicle suspension vibration. *J. of Terramechanics*. 41: 41-68.
- Scarlett A. J., Price J. S., Stayner R. M. 2007. Whole body vibration: Evaluation of emissions and exposure levels arising from agricultural tractors. *J. of Terramechanics*. 44: 65-73.
- Seidel H., Heide R. 1986. Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health*. 58(1): 1-26.
- Soderling, S., Sharp, M. and Leser, C. 1999. Servo Controller Compensation Methods Selection of the Correct Technique for Test Applications. VII International MobilityTechnology Conference & Exhibit. Sao Paulo, Brazil:30-35.
- Sherwin L. M., Owende P. M. O., Kanali C. L., Lyons J., Ward S. M. 2004. Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber. *Applied Ergonomics*. 35(3): 235-261.
- Taylor R.K., Bashford L.L., Schrock M.D. 2000. Methods for measuring vertical tire stiffness. *Transactions of the ASAE*. 43(6): 1415-1419.
- Witzel P., Bottinger S. 2011. Upgrading of the Hohenheim Tyre Model to a radial approach, *Landtechnik* 2, 144-146.

Capitolo 5

Sviluppo di una metodologia semplificata per lo studio del comfort degli operatori agricoli

Maurizio Cutini, Elio Romano, Carlo Bisaglia

CRA-ING, Treviglio (BG)

Sommario

Il presente capitolo illustra la seconda parte dei risultati del Work Package (WP) 3 del progetto INTRAC inerente la messa a punto di una metodologia di prova semplificata per riprodurre le sollecitazioni generate da un suolo agrario di riferimento su un trattore agricolo a ruote gommate.

L'evoluzione tecnica e legislativa dei trattori agricoli ha condotto verso un incremento delle velocità di avanzamento sia nel trasporto stradale che nelle lavorazioni su campo con la conseguenza di aumentare l'interesse verso la problematica relativa all'esposizione degli operatori al rischio vibrazioni.

Gli studi in questo ambito sono diretti a misurare le accelerazioni dei veicoli, il comfort dell'operatore, le capacità di smorzamento dei diversi dispositivi (Hoppe, 2004), allo sviluppo di modelli, ma il profilo del suolo è scarsamente analizzato sebbene ad oggi si ritenga che il parametro che ha più influenza sui livelli di esposizione del veicolo sia la rugosità della superficie (Scarlett et al., 2007, Cutini, 2010).

I risultati di precedenti analisi hanno mostrato che nonostante il cambio di terreno, della relative superficie, della composizione e delle velocità di avanzamento, lo spettro del profilo del suolo agente sul veicolo è sempre simile.

Presenta un elevato contenuto in energia a frequenze inferiori ai 4 Hz, poi decresce rapidamente, è meno rilevante tra i 4 ed i 10-12 Hz ed a frequenze superiori risulta trascurabile.

Per queste ragioni, il Laboratorio di Treviglio ha focalizzato la ricerca nel definire una forzante standard con l'obiettivo di sollecitare le parti elastiche del trattore.

Il risultato è lo sviluppo di un metodo semplificato per il rilievo del comfort dell'operatore di un trattore agricolo consistente in un'innovativa pista che ha lo scopo di eccitare i componenti elastici del veicolo e che può essere allestita senza un eccessivo impegno.

Il cuore del progetto è la costruzione di quattro rampe appositamente costruite che sono presentate in questo lavoro.

Introduzione

I risultati ottenuti dall'analisi degli spettri dei profili dei suoli agrari riprodotti hanno mostrato che le frequenze cui viene sollecitato il veicolo non sono un random, casuali, come si potrebbe immaginare ma coincidono con le frequenze proprie delle parti elastiche del trattore quali: pneumatici, sospensioni cabina e sedile.

L'ampiezza dell'eccitazione è risultata essere, principalmente, funzione dell'effetto combinato della rugosità del suolo con la velocità di avanzamento. Queste due variabili non influenzano invece la frequenza della risposta dinamica del veicolo.

In pratica, il fenomeno sembra spiegarsi con il fatto che la velocità di avanzamento del veicolo viene trasformata in accelerazione verticale dalla rugosità della superficie. Quando questa energia è sufficiente ad eccitare le parti elastiche il trattore ha una dinamica verticale principalmente determinata dalle frequenze di risonanza di queste ultime.

Il profilo del suolo agisce, quindi, come una serie di impulsi sollecitante le parti elastiche. Di conseguenza sembra possibile definire una forzante standard che solleciti le parti elastiche del trattore.

Simili metodologie sono già presenti in letteratura e presentano piste semplificate per macchine movimento terra usando per lo più dossi con profilo a gradino (UNI EN ISO 12100:2010; UNI EN 1032/2009; UNI EN 13059/2008).

Di conseguenza, la metodologia richiede che siano presenti: 1) una velocità di avanzamento; 2) la trasformazione di parte di questa in una componente verticale; 3) una sollecitazione verticale generata da quest'ultima; 4) una fase di smorzamento; 5) il ristabilire la velocità di avanzamento indisturbata verticalmente.

Materiali e metodi

I principali ingressi impulsivi nel campo delle vibrazioni sono:

- dosso: solitamente di profilo sinusoidale assume però lo stesso effetto di un triangolare per alte frequenze;
- rampa: ad una salita lenta, cioè in cui non si abbia una reazione delle parti elastiche, segue una discesa a gradino;
- gradino: il profilo rettangolare genera un impulso in ingresso seguito da uno in discesa.

Poiché gli pneumatici agricoli hanno un'amplificazione del segnale in ingresso di circa 10 volte in condizioni di risonanza (circa 3Hz) ed un elevato potere filtrante oltre i 5 Hz, i profili sinusoidali, triangolari ed a gradino sarebbero stati influenzati dalla velocità di avanzamento. Cioè la velocità di esecuzione del test sarebbe stata una variabile significativa in una valutazione comparativa tra due dispositivi. Per tale motivo il profilo scelto è stato la rampa (Figura 1) in quanto consente di evitare di dipendere dall'azione filtrante degli pneumatici sui profili rettangolari (gradino).

Un'ulteriore condizione del test era di ottenere valori agli assi verticali al sedile dell'operatore compresi tra $0.5 < a_{wz} < 1.5 \text{ m/s}^2$, cioè non confortevole.

Il disegno sperimentale per testare la validità del concetto ha previsto:

- l'adozione di tre trattori agricoli 4WD di differente marca e modello. I trattori erano provvisti con silent block come supporti cabina; avevano una potenza nominale compresa tra i 67 ed i 110 kW; massa da 3000 a 5700 kg. Il trattore non era zavorrato e gli pneumatici erano ad 1.6 bar;
- un tratto di pista di 30 m con 4 rampe di 1 m di lunghezza e 50 mm di altezza (R_{test}), raffigurate in Figura 2. La posizione delle rampe rispetta il passo e la carreggiata del trattore in prova. Le rampe sono state poste a 15 m dall'inizio della pista. Il principio era di passare sulle rampe con l'asse frontale, poi con le quattro ruote insieme e, quindi con l'asse posteriore. In questo modo il trattore sarebbe caduto da 50 mm;
- due superfici di terreno, con differenti caratteristiche meccaniche (resistenza alla penetrazione e percentuale di scheletro negli strati superiori) sono stati considerati:
 - un suolo compatto con bassa percentuale di scheletro (G₋ Figura 3a);

- un suolo soffice ma con alta percentuale di scheletro (I_ – Figura 3b).

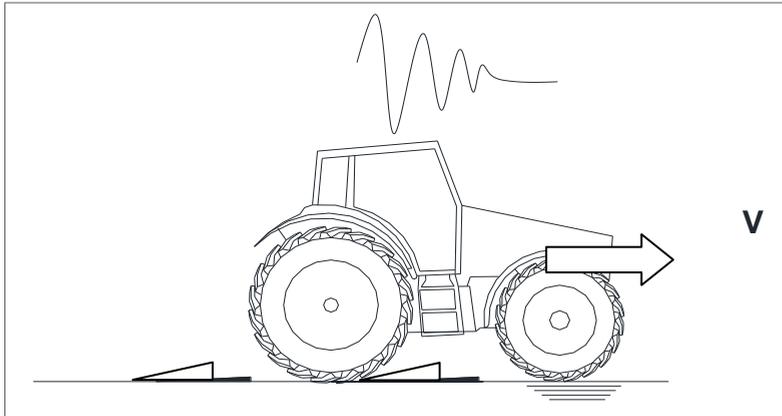


Figura 1 - Schema sperimentale.



Figura 2 - Le rampe specificatamente progettate

Con riferimento alla classificazione fatta dall'European Soil Bureau Network (ESBN) e dal World Reference Base for Soil Resources (WRB), il terreno di Treviglio può essere classificato come un Haplic Luvisol, che è il tipico suolo del Nord Italia (European Commission, 2005). Un'analisi del terreno condotta in accordo con il sistema di nomenclatura United States Department of Agriculture (USDA) ha mostrato la composizione del terreno come (diametro < 2 mm): 68% of sabbia, 24% of limo e 8% di argilla.



Figura 3a - La superficie di prova G_



Figura 3b - La superficie di prova I_

I trattori sono stati strumentati con un piattello accelerometrico triassiale (range ± 50 g, sensitività 100 mV/g) posizionato in corrispondenza della superficie del sedile per valutare il comfort dell'operatore.

La ISO 2631:1997 è stata usata per la definizione dell'esposizione al comfort dell'operatore.

Per le condizioni sui terreni G_ ed I_ sono state adottate quattro velocità con step di 2 km/h (4 km/h, 6 km/h, 8 km/h, 10 km/h).

Per il test R_ è stata adottata anche la velocità di 12 km/h. Lo step di 2 km/h è stato scelto perché sufficiente ad eccitare le principali risonanze del trattore.

Risultati

I risultati hanno mostrato che i valori più bassi di accelerazione (miglior comfort) si ottengono nella condizione di 4 km/h su tutti gli assi (Figura 4), ma tale velocità non mostra differenze tra i veicoli in prova.

La condizione più severa è risultata quella sulle rampe a 12 km/h.

Le condizioni I8; I6; G8; G10; R6 sono risultate le più significative.

A velocità superiori si introducono risposte al di fuori del campo di linearità degli elementi elastici con l'apparire di urti e risposte dinamiche non desiderate, ad esempio il rimbalzo degli pneumatici sulle rampe successive. Per tale motivo le velocità tra 6 ed 8 km/h risultano le più interessanti seguendo le premesse ed i propositi del test.

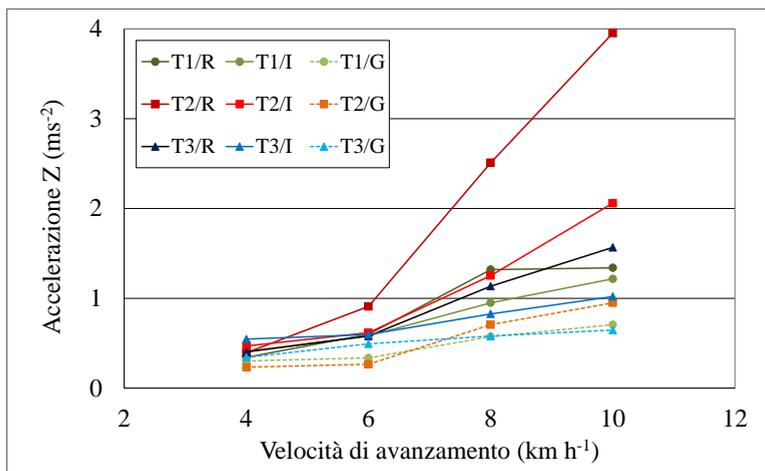


Figura 4 - Il valore di accelerazione (RMS) all'operatore all'asse verticale Z (ISO 2631).

Sull'asse verticale Z la correlazione tra l'innovativa pista con le rampe ed i terreni in prova è emersa anche nel campo della frequenza. Tale risultato viene riportato graficamente in Figura 5.

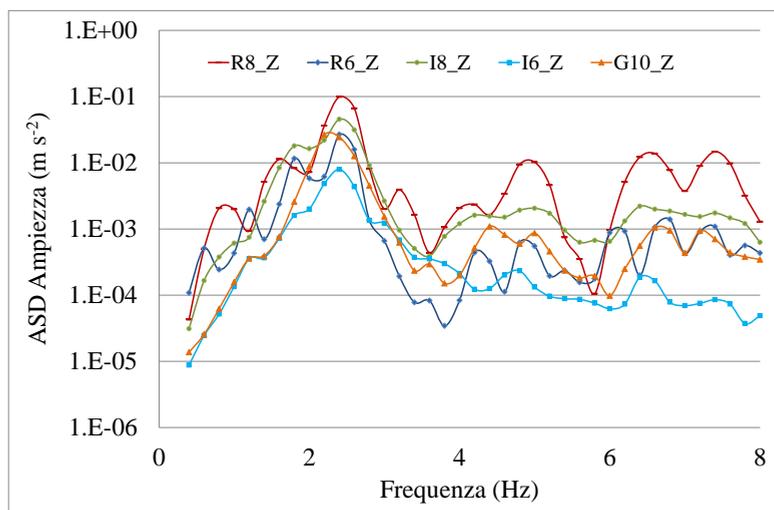


Figura 5 - Lo spettro del rilevato all'asse Z nelle condizioni più significative (T2)

Conclusioni

Il CRA-ING Laboratorio di Treviglio ha condotto una ricerca per verificare la possibilità di sviluppare una metodologia semplificata per valutare l'esposizione alle vibrazioni degli operatori agricoli. Metodi simili sono già presenti per la valutazione delle macchine movimento terra usando ingressi a gradino.

Il risultato è stato l'allestimento di una pista di 30 m con quattro rampe appositamente costruite. Una prima sperimentazione condotta su 3 trattori differenti comparata anche

con condizioni di campo ha confermato di aver ottenuto l'effetto desiderato sull'asse verticale del veicolo.

Bibliografia

- Cutini M., Bisaglia C., Bertinotti S. A. 2010. Power spectral analysis of agricultural field surface. XVII World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystem Engineering, 13-17 June 2010, Quebec City, (Canada)
- European Commission 2005. Soil Atlas of Europe, European Soil Bureau Network. Office for Official Publications of the European Communities. L-2995 Luxembourg : s.n., 2005. p. 128.
- Hoppe U., Hoppe H., Meyer J. 2004. Vibration isolation in farm machines. State of the art. *Landtechnik* 59(1): 24-25.
- ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirement.
- Scarlett A. J., Price J. S., Stayner R. M. 2007. Whole body vibration: Evaluation of emissions and exposure levels arising from agricultural tractors. *J. of Terramechanics*. 44: 65-73.
- UNI EN ISO 12100:2010: Sicurezza del macchinario - Principi generali di progettazione - Valutazione del rischio e riduzione del rischio.
- UNI EN 1032:2009: Vibrazioni meccaniche - Esame di macchine mobili allo scopo di determinare i valori di emissione vibratoria.
- UNI EN 13059:2008: Sicurezza dei carrelli industriali - Metodi di prova per la misurazione delle vibrazioni.

Capitolo 6

Monitoraggio tramite smartphone dell'agente "Whole Body Vibration"

Maurizio Cutini, Carlo Bisaglia

CRA-ING, Treviglio (BG)

Sommario

Il presente capitolo illustra la terza parte dei risultati del Work Package (WP) 3 del progetto INTRAC ed è relativa allo sviluppo di una metodologia semplificata per il monitoraggio delle vibrazioni sul corpo intero degli operatori.

L'effetto di tali vibrazioni, infatti, dipende dall'intensità, dalla durata e dalla frequenza delle stesse.

Le vibrazioni con frequenza inferiore ai 2 Hz possono causare effetti non confortevoli, come il mal d'auto, che risultano temporanei ma interferiscono con l'attività lavorativa. Una prolungata esposizione alle vibrazioni con frequenze tra i 2 to 20 Hz può causare malattie professionali, quali patologie degenerative della colonna spinale (Chiang et al., 2006; Seidel et al., 1986).

Vi sono specifiche Direttive e norme per regolamentare e valutare il rischio vibrazioni sia a livello comunitario (Direttiva 2002/44/EC, 2002; ISO standard 2631-1, 1997) che nazionale (Decreto n. 81/2008, comunemente noto come Test Unico sulla Sicurezza).

Tuttavia, nonostante la presenza regolamentazioni, un aspetto difficoltoso rimane il monitoraggio delle vibrazioni degli operatori dei trattori a causa dell'eterogeneità dell'ambiente di lavoro. Sull'approccio di utilizzare un vibrometro, il CRA-ING di Treviglio, ha sviluppato un'applicazione per smartphone per misurare ed analizzare le vibrazioni al corpo intero. Il risultato è un metodo semplice per un'iniziale definizione del livello di esposizione, per informare e formare i lavoratori e spiegare l'importanza del monitoraggio delle vibrazioni.

Introduzione

Il monitoraggio dell'esposizione alle vibrazioni al corpo intero rappresenta un aspetto chiave, ma è particolarmente difficoltoso per i trattori agricoli in quanto l'eterogeneità dell'ambiente e delle situazioni lavorative non rende possibile un'esatta previsione e quindi una standardizzazione.

La legge richiede, attualmente, di dichiarare il valore di omologazione limite al sedile ma il datore di lavoro deve comunque effettuare un'analisi dei rischi dei propri dipendenti e, quindi, le relative misurazioni. L'approccio è di misurare alcune situazioni che potrebbero essere rappresentative del lavoro o riferirsi a database esistenti ottenuti con trattori ed usi simili.

Questo approccio è riconosciuto dall'Autorità, ma non risolve il problema di monitorare in tempo reale il livello di esposizione dell'operatore nelle specifiche condizioni di lavoro o trattori (livello tecnologico, manutenzione, ecc.).

Un altro approccio utilizzabile è quello di utilizzare vibrometri che potrebbero essere comparati agli esposimetri utilizzati in alcuni laboratori medici.

Con tali premesse, il CRA-ING Laboratorio di Ricerca di Treviglio, ha sviluppato un'applicazione per smartphone per misurare ed analizzare il WBV. L'applicazione rispetta i filtri ed i pesi della ISO 2631-1997; lo smartphone deve essere indossato dall'operatore senza preoccuparsi dell'orientamento. L'applicazione fornisce il dato in tempo reale sull'esposizione, l'esposizione giornaliera ed il tempo rimanente lavorativo per restare in condizioni di sicurezza.

Il risultato è un metodo estremamente semplice per un'iniziale definizione del livello di esposizione al WBV. Potrebbe rappresentare un economico modo per informare e formare i lavoratori e spiegare l'importanza del monitoraggio delle vibrazioni.

Materiali e metodi

L'applicazione INTRAC-vibra era nata come un'idea per ricercatori, tecnici e operatori agricoli con lo scopo di lavorare in sicurezza.

È stata sviluppata rispettando i filtri ed i pesi della ISO 2631-1997, in particolare è stato scelto il capitolo 2: Comfort. Questo permette di considerare insieme il livello di sollecitazione dei 3 assi ma il software potrebbe facilmente essere adattato ai requisiti della salute, capitolo 1, più comunemente usato.

Per evitare la problematica del suo allestimento sul veicolo si è deciso di svincolarsi dal richiedere uno specifico orientamento. L'applicazione fornisce il livello di esposizione in tempo reale, il livello di esposizione giornaliero ed il rimanente tempo di lavoro in condizioni di sicurezza.

È stato concepito per essere usato con i più comuni tipi di smartphone Android™ e per offrire un dispositivo di semplice utilizzo che, comunque, non può essere sostituito dai vibrometri ufficiali con pannello accelerometrico.

Il valore di accelerazione ottenuto è il valore totale dell'RMS dell'accelerazione pesato è determinate dalla vibrazione nelle coordinate ortogonali ed è calcolato come segue:

$$a_v = (k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2)^{1/2}$$

dove:

- k_i è un fattore moltiplicativo definito nella normativa e che dipende dal punto in cui è misurato (sedile, schiena o piedi) e sull'asse sollecitato (X, Y o Z). In questo caso è riferito al sedile e sui singoli assi è stato assunto che $k_x = k_y = k_z = 1$;
- a_{wi} è il valore dell'RMS dell'accelerazione pesato. I pesi dei filtri sono definiti nella citata normativa e dipendono dal punto di misura e dall'asse sollecitato;
- a_v è il valore globale della vibrazione, determinate dall'RMS dei valori di accelerazione.

La normativa richiede una misura delle vibrazioni fino ad 80 Hz.

Questo potrebbe essere un limite tecnico per lo smartphone, ma studi hanno mostrato che le sollecitazioni su trattori agricoli e i valori di esposizione su guidatori hanno il maggior contenuto d'energia entro 12 Hz (Cutini, 2010; Deboli, 2012; Park, 2004; Taylor, 2000).

I requisiti di sistema dello smartphone sono:

- CPU dual core at 1 Ghz (raccomandato quad core);
- 512 MB RAM;
- almeno 20 MB liberi nella memoria interna dello smartphone;
- sistema operativo Android™ 2.3.x (raccomandato 4.0. o successivi).

Gli step del progetto sono stati:

- sviluppo del software;

- validazione su di un attuatore utilizzato come generatore di vibrazioni;
- validazione su di un trattore agricolo.

Sono stati utilizzati l'accelerometro triassiale dello smartphone e un attuatore che ha generato un segnale random per validare l'applicazione; l'attuatore era un cilindro del banco vibrante descritto al capitolo 3 del presente volume.

I segnali scelti per le verifiche del software erano random con le seguenti caratteristiche:

- 0-5 Hz, 10 mm RMS;
- 0-5 Hz, 20 mm RMS;
- 0-10 Hz, 5 mm RMS;
- 0-10 Hz, 10 mm RM;
- 0-15 Hz, 3 mm RMS;
- 0-15 Hz, 5 mm RMS;
- 0-20 Hz, 3 mm RMS.

La verifica di funzionalità è stata fatta usando un trattore agricolo 4WD di 85 kW di potenza nominale. Il trattore aveva la cabina sospesa su silent block ed il sedile con sospensione pneumatica.

I dati ottenuti con lo smartphone sono stati comparati con la seguente strumentazione di misura certificata:

- vibrometro HD2030
- piattello accelerometrico triassiale da sedile: PCB Piezotronics 356 B 40.

Le misure sono state condotte su 4 differenti superfici a tre differenti velocità:

- pista in cemento (CT) ad 8 km/h: CT_8;
- pista in asfalto (AT) a 20 km/h: AT_20;
- terreno inerbito (GF) ad 8 km/h: GF_8;
- terreno ad elevato contenuto di scheletro a 6 km/h: SF_6;
- terreno ad elevato contenuto di scheletro a 11 km/h: SF_11.

Lo smartphone è stato provato in due differenti posizioni:

- nella tasca dei pantaloni dell'operatore: _P;
- in una sede sul montante sinistro della cabina: _C.

Risultati e discussione

L'applicazione INTRAC–vibra può rilevare il valore delle vibrazioni sull'operatore dello smartphone durante le normali operazioni di lavorazione. Visualizza anche il grafico dell'ampiezza della sollecitazione in tempo reale e mostra la vibrazione assorbita durante l'intero tempo di lavoro o durante l'ultimo minuto. È possibile installare l'applicazione come una normale app scaricandola ed eseguendo il pacchetto Android™ con l'applicazione “Installer package”. INTRAC–vibra si avvia toccando l'icona nella sezione “Applicazioni”. Lo smartphone può essere posto su qualsiasi superficie, cassetto o indossato, purché sia vincolato rigidamente, tuttavia l'ideale sarà indossarlo in quanto rileverà le vibrazioni dell'operatore. Non vi è un requisito sull'orientamento.

Un tasto, dalla simbologia di avvio “▶”, posto nell'angolo superiore destro, avvia l'applicazione INTRAC–vibra e dà l'inizio al rilievo. I valori saranno disponibili dopo il primo minuto ed aggiornati con tale frequenza.

Sono stati introdotti dei livelli di allerta per un'immediata lettura per l'operatore: il colore giallo di riempimento indica una condizione non confortevole, il rosso che potrebbe essere pericoloso proseguire per le otto ore lavorative (Figura 1). Questi limiti sono, rispettivamente, $0,5 \text{ m/s}^2$ e 1 m/s^2 .

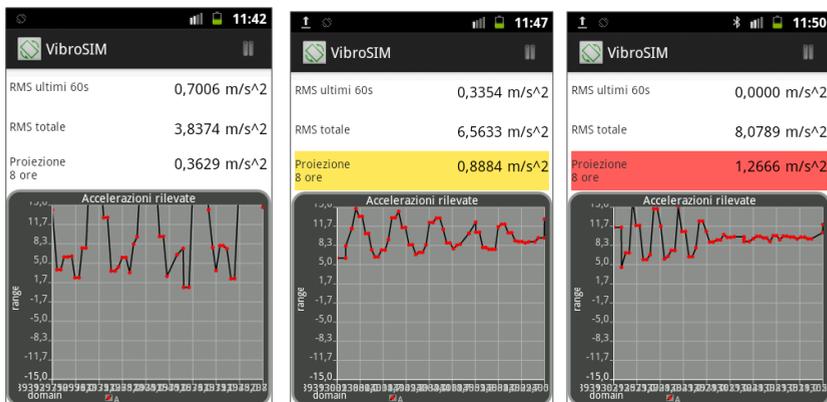


Figura 1 - Esempio di output dell'applicazione sviluppata (giallo=non confortevole; rosso=livello eccessivo)

I campi indicano:

- il livello equivalente di esposizione, ogni minuto (Aeq);
- il livello di esposizione alle 8 ore (A8);
- il valore totale di RMS dell'accelerazione misurata dall'inizio della misurazione.

I risultati della validazione dell'applicazione all'attuatore sono riportati in Tabella 1.

Sono stati rilevati una sovrastima di circa il 15% alle frequenze inferiori a 5 Hz. Questo potrebbe essere riconducibile ad un differente tipo di sensibilità dei sensori. Il valore ha un errore di circa il 3%, se il segnale è compreso tra 0 e 10 Hz. Invece il risultato è sottostimato all'alzarsi della frequenza del segnale, in particolare di circa il 15% in meno entro i 15 Hz e del 17% in meno sotto i 20 Hz.

Tabella 1 - Valore delle accelerazioni ottenute durante la validazione all'attuatore

Condizione (Hz; mm)	Vibrometro (m/s^2)	INTRAC-vibra (m/s^2)	Errore medio (%)
R_5H_10	0.4	0.46	15
R_5H_20	0.88	1.02	13.7
R_10H_5	0.64	0.62	3.1
R_10H_10	1.26	1.23	2.4
R_15H_3	0.71	0.6	15.5
R_15H_5	1.16	1	13.8
R_20H_3	1.05	0.87	17.1

Lo standard ISO 2631 richiede che la misura al corpo intero sia effettuata sino a 80 Hz. Tuttavia gli studi in materia hanno dimostrato che le frequenze di maggior interesse per gli operatori di trattori agricoli sono comprese entro 12 Hz.

È quindi possibile supporre che l'applicazione possa essere adatta nelle applicazioni su trattore. I risultati ottenuti nelle condizioni operative con trattore descritte sono riportate in tabella 2. Essi presentano un errore medio del 10%. I valori con errore più elevato (25%) sono stati ottenuti nelle condizioni più severe e quando lo smartphone era stato posto nella tasca del montante sinistro della cabina (SF_11_C). Ovviamente in questa posizione non è possibile parlare di errore del solo strumento in quanto si deve considerare che la sollecitazione alla cabina risultava effettivamente più alta di quella misurata dal vibrometro al sedile.

Tabella 2 - Valore delle accelerazioni ottenute in condizioni operative

Condizione	Vibrometro (m/s ²)	INTRAC-vibra (m/s ²)	Errore medio (%)
CT_8_P	0.45	0.49	8.5
AT_20_P	0.54	0.59	9.7
GF_8_P	0.7	0.79	16.7
SF_6_P	0.8	0.69	14.3
SF_11_P	1.39	1.47	5.7
CT_8_C	0.44	0.43	7.5
AT_20_C	0.43	0.35	17.1
GF_8_C	0.71	0.78	11.1
SF_6_C	0.88	0.7	20.6
SF_11_C	1.46	1.82	25

È, quindi, possibile considerare l'errore della misura compreso tra il 5 e il 20%. Le misure all'attuatore e quelle effettuate in condizione operative sono riportate in Figura 11 con l'obiettivo di mostrare qualitativamente le prestazioni dell'applicazione a confronto con il vibrometro. Sull'ascissa sono riportate le condizioni di prova e sull'ordinata i valori di esposizione rilevati con entrambi i sistemi.

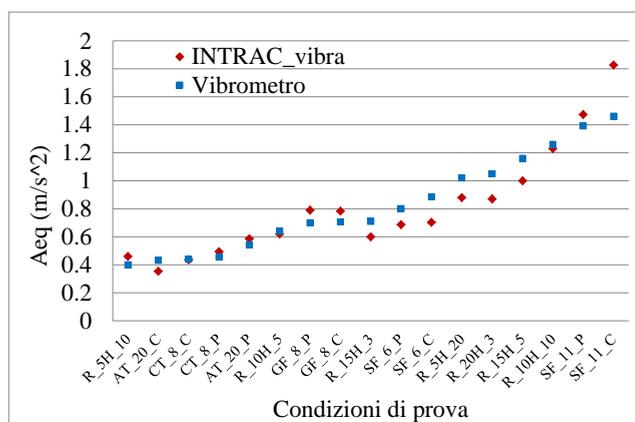


Figura 11 - Valori di comfort ottenuti con lo smartphone (INTRAC-vibra) e con il sistema certificato (Vibrometro).

Conclusioni

Il CRA-ING, Laboratorio di Treviglio ha sviluppato un'applicazione per smartphones per misurare ed analizzare il WBV degli operatori di trattori agricoli.

L'applicazione è stata sviluppata seguendo i requisiti della ISO 2631-1997. Lo smartphone viene semplicemente indossato dall'operatore senza problemi di orientamento.

Fornisce in tempo reale i dati di esposizione dell'ultimo minuto, di esposizione giornaliera e la proiezione ad 8 ore per lavorare in condizioni di sicurezza.

L'errore medio misurato è del 10%, rilevato durante comuni operazioni con un trattore ed in condizioni non confortevoli.

L'applicazione sviluppata non può sostituire una catena di misura certificata ma fornisce un metodo molto semplice per un'iniziale definizione dei livelli di esposizione al WBV e può rappresentare un dispositivo economico da utilizzare per l'addestramento degli operatori o spiegare in pratica l'importanza del monitoraggio delle vibrazioni al corpo intero.

Bibliografia

- Chiang, C. F. and Liang, C. C. 2006. A study on byodynamic models of seating human subjects exposed to vertical vibration. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2006. Vol. 36, pp. 869-890.
- Cutini M., Bisaglia C., Bertinotti S. A. 2010. Power spectral analysis of agricultural field surface. XVII World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystem Engineering, 13-17 June 2010, Quebec City, (Canada)
- Deboli R., Calvo A., Preti C. 2012. Transmissibility of agricultural tractors seats. *Proc.Int. Conf. RagusaShwa. Ragusa, Italy*. 368 – 374.
- Decreto Legislativo n. 81, Testo Unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, 9 April 2008
- European Directives, 2002. Directive 2002/44/EC, Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration), *Official Journal*, vols. L177, 06/07/2002, P. 0013-0020
- ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirement
- Park S., Popov A.A., Cole D.J. 2004. Influence of soil deformation on off-road heavy vehicle suspension vibration. *J. of Terramechanics*. 41: 41-68.
- Seidel H., Heide R. 1986. Long-term effects of whole-body vibration: a critical survey of the literature. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health*. 58(1): 1-26.
- Taylor R.K., Bashford L.L., Schrock M.D. 2000. Methods for measuring vertical tire stiffness. *Transactions of the ASAE*. 43(6): 1415-1419.

Capitolo 7

Applicazione della metodologia di calcolo dell’“Indice di comfort” alla valutazione strumentale del comfort offerto da due tipologie di sedili di trattore in cinque condizioni operative

Francesco Marcolin^(1), Marco Bordignon⁽¹⁾, Marzia Iuri⁽¹⁾, Paolo Taboga^(1,2), Guglielmo Antonutto^(1,2)*

⁽¹⁾*ErgoCert – Ente di Certificazione per l’Ergonomia Srl, Spin-off Accademico dell’Università di Udine, Via Aquileia 26/3, 33100 Udine (Italy)*

⁽²⁾*Università di Udine, Dipartimento di Scienze Mediche e Biologiche, Piazzale Kolbe 4, 33100 Udine (Italy)*

* *E-mail: francesco.marcolin@uniud.it*

Sommario

Il presente studio illustra i risultati del Work Package (WP) 5 del progetto INTRAC ed aveva l’obiettivo di verificare strumentalmente il comfort offerto da due sedili di trattore (“bassa” e “medio-alta gamma”). A tal fine sono state condotte specifiche rilevazioni barometriche finalizzate a raccogliere ed in seguito analizzare, mediante metodica tecnica dedicata (“Indice di comfort”), le distribuzioni di pressione esercitate su 2 sedili probandi in 5 differenti condizioni sperimentali (a motore spento, su pista a 20 e 40 km/h, su prato a 10 km/h e su terreno dissestato a 8 km/h).

Le rilevazioni si sono svolte presso il CRA-ING di Treviglio (BG), con un campione rappresentativo di 12 possibili utenti di diverso genere e corporatura.

L’“Indice di comfort” calcolato ha evidenziato come ci fosse una differenza significativa tra le due gamme di sedili valutate in termini di comfort barometrico (quello maggiormente correlato con il comfort percepito), ma come tale differenza tendesse a ridursi progressivamente nelle condizioni operative più gravose (campo e terreni particolarmente dissestati). Anche il sedile di gamma medio-alta pertanto tendeva a perdere le proprie caratteristiche di comfort, proprio nelle condizioni nelle quali viene più frequentemente utilizzato.

Introduzione

Gli operatori agricoli passano fino a 1000 ore/anno sui trattori il cui sedile è l’elemento della cabina dal quale dipende, durante l’utilizzo, larga parte del loro comfort operativo e dell’affaticamento. Per tal motivo e in considerazione della crescente incidenza delle malattie professionali (+30% dal 2005 al 2009, INAIL), il comfort e l’adeguatezza ergonomica del sedile, pur regolarmente omologato secondo le normative vigenti sulla trasmissione delle vibrazioni, assumono una particolare rilevanza anche alla luce di quanto previsto dal Testo Unico sulla Sicurezza del lavoro (D.Lgs. n. 81/08) che all’art. 15 richiede “il rispetto dei principi ergonomici nell’organizzazione, nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione”.

I sedili delle macchine agricole vengono attualmente omologati al fine di valutarne la loro capacità ad abbattere le vibrazioni verticali (solo sull’asse z) trasmesse dal terreno

all'operatore, ma non tengono in considerazione le caratteristiche ergonomiche del sedile nelle condizioni di utilizzo (campo/strada, ecc.).

Per tale motivo, l'ergonomia ed il comfort del sedile assumono una crescente rilevanza. I principali obiettivi della ricerca svolta pertanto i seguenti:

- adattare la metodologia di calcolo dell'“Indice di comfort”, indicatore oggettivo del comfort di sedili e superfici validato da ErgoCert, alla valutazione del comfort di due tipologie di sedili di trattore (“bassa” e “medio-alta gamma”);
- verificare quale sia il livello di comfort offerto dai due sedili prescelti per l'utenza di riferimento, fornendo una quantificazione dell'adeguatezza prestazionale in termini di comfort dei materiali e delle curve di accoglienza dei sedili valutati;
- valutare il possibile effetto di alcuni fattori come l'indice di massa corporea ed genere sul comfort dei sedili.

Parte tecnica

Il comfort

Preliminarmente, è necessario chiarire che cosa si intenda con il termine “comfort”, in quanto ad esso concorrono molteplici fattori fisici, psicologici e fisiologici, motivo per cui è stato definito ed operazionalizzato in modi molto differenti. Slater (1985) ha definito il comfort come “un piacevole stato fisiologico, psicologico e fisico di armonia tra l'essere umano e il suo ambiente”. Richards (1980) ha invece posto l'attenzione sul lato soggettivo di tale concetto, definendo il comfort come “un senso di soggettivo benessere di una persona, in risposta ad un ambiente o ad un contesto”. Fin da queste definizioni emerge chiaramente come alla sensazione emergente di comfort concorrano tanto aspetti oggettivi dell'ambiente, quanto variabili più squisitamente soggettive.

Ad ulteriore approfondimento, si segnala come il rapporto tra i concetti e le sensazioni di comfort e discomfort sia stata concettualizzata da alcuni autori come discreta (es., Hertzberg 1958, Floyd et al., 1958) e da altri come continua e variabile da un estremo discomfort ad uno stato di estremo comfort, passando da uno stato neutro (es., Richards, 1980).

Zhang et al. (1996) hanno evidenziato come, considerando il comfort e il discomfort durante la seduta, l'assenza di discomfort non si traduca automaticamente in comfort. Questo approccio potrebbe rivelarsi molto interessante in fase di discussione, in particolare alla luce della stretta relazione emersa tra pressione e discomfort di seduta (Goossens et al. 1998, 2002).

Differenti metodi oggettivi sono stati utilizzati per quantificare il comfort (es. valutazione della postura, del numero di movimenti del corpo, elettromiografie, barometrie, etc). De Looze et al. (2003) hanno evidenziato come, tra le 21 ricerche analizzate nel loro lavoro, la distribuzione delle pressioni fosse l'unica misura oggettiva fortemente correlata con il comfort percepito, mentre le altre rilevazioni portavano a risultati contrastanti.

La valutazione analitica della distribuzione del peso corporeo, effettuata tramite appositi sensori barometrici, ha evidenziato come una superficie confortevole tenda a minimizzare le pressioni medie, i picchi e i gradienti di pressione. Partendo da tale presupposto, ErgoCert (2009-2012) ha predisposto e validato una metodologia di analisi delle distribuzioni pressorie, denominata “Indice di comfort”, che considera i citati parametri e contiene un criterio di normalizzazione costituito dall'utilizzo di un Sedile di Riferi-

mento (SDR). Il Sedile di Riferimento, cui è assegnato comfort nullo, rappresenta l'elemento atto a rendere possibile il confronto tra diverse superfici.

Tale metodologia, descritta nel paragrafo Materiali e metodi, è stata utilizzata per la valutazione del comfort strumentale dei sedili da valutarsi nella presente ricerca. Ulteriori fattori potenzialmente incidenti sulla raccolta e sull'analisi delle distribuzioni barometriche (es. corporatura, posture, layout della cabina, tipologia del sedile, etc.) sono stati considerati e riportati nel medesimo paragrafo.

Materiali e metodi

Caratteristiche dei sedili probandi

Vista la natura esplorativa della ricerca, sono state considerate due tipologie:

- un sedile di fascia economica (“bassa gamma”), caratterizzato da una ridotta superficie, dall'assenza dei braccioli e del poggiatesta, oltre che dalle ridotte possibilità di regolazione, in relazione ad esempio allo schienale;
- un sedile di fascia più alta (“medio-alta gamma”), caratterizzato da dimensioni più ampie atte ad offrire un migliore supporto (es. fascia lombare), da una migliore qualità dell'imbottitura, dalla presenza di braccioli e poggiatesta e di una più ampia possibilità di regolazione.

Ulteriore aspetto particolarmente rilevante è costituito dal tipo di sistema di sospensione adottato. Nel caso in esame si è scelto di utilizzare il solo sistema di sospensione meccanico, generalmente meno performante dei sistemi pneumatici o idraulici ed ancora presente su molti trattori correntemente utilizzati dagli operatori.

Strumenti

Le distribuzioni di pressione sono state registrate attraverso appositi sensori barometrici *X-Sensor LX 200*. Nel dettaglio, ciascuno dei due sensori utilizzati era dotato di 48 celle sensibili per lato, calibrate con un range da 0,69 kPa a 103 kPa. I sensori erano connessi a PC mediante apposita strumentazione e un software dedicato consentiva di estrarre i valori barometrici relativi a ciascun sensore, in seguito analizzati, e di visualizzarli con apposite mappe colorimetriche. Le distribuzioni barometriche associate al sedile di bassa gamma, viste le ridotte dimensioni dello stesso, hanno potuto essere rilevate usando un solo sensore. Ai fini del calcolo dell'“Indice di comfort”, il CRA-ING ha predisposto, su richiesta della stessa ErgoCert, un apposito sedile rigido di riferimento (baseline di riferimento a comfort nullo, Figura 1), in seguito opportunamente installato su supporto ammortizzato per consentirne la regolazione (altezza e spostamento in avanti) in base alle necessità antropometriche degli utenti.



Figura 1 - Sedile rigido di riferimento a comfort nullo

Campione di utenti

Ai fini delle valutazioni esposte è stato costruito un campione di 12 possibili utenti (Tabella 1), 8 uomini e 4 donne, stratificato in funzione dell'indice di massa corporea (I.M.C.).

Tabella 1 - Composizione del campione sperimentale di utenti.

Soggetto (n.)	Sesso	Statura (m)	Massa Corporea (kg)	I.M.C. (kg/m²)
1	M	1,84	78	23,0
2	M	1,75	62	20,2
3	M	1,75	75	24,5
4	M	1,84	91	26,9
5	M	1,77	70	22,3
6	M	1,87	97	27,7
7	M	1,67	76	27,3
8	F	1,63	55	20,7
9	M	1,73	56	18,7
10	F	1,70	50	17,3
11	F	1,80	82	25,3
12	F	1,80	73	22,5

Relativamente al livello di esperienza degli operatori nella guida dei trattori, 1/3 degli utenti poteva definirsi esperto (utilizzo frequente e continuativo), mentre i restanti 2/3 hanno dichiarato di aver utilizzato solo saltuariamente i trattori.

I soggetti coinvolti, che come visualizzato dal grafico di Figura 2 erano discretamente rappresentativi di tutte le corporature, sono stati categorizzati in “leggeri” (I.M.C. < 21), di media corporatura (21 < I.M.C. < 25) e “pesanti” (I.M.C. > 25). Le frequenze dei tre sottogruppi sono riportate in Tabella 2.

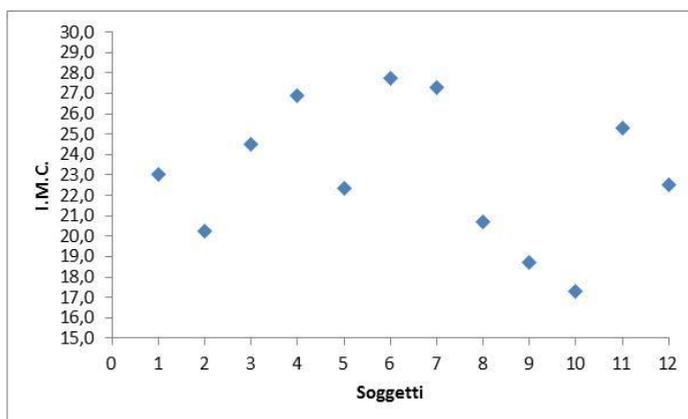


Figura 2 - Distribuzione delle corporature (Indici di Massa Corporea)

Tabella 2 - Segmentazione corporatura del campione

I.M.C. < 21 “Leggeri”	21 ≤ I.M.C. ≤ 25 “Media corporatura”	I.M.C. > 25 “Pesanti”
4	4	4

Procedura di raccolta dati

Per ciascun soggetto sono state raccolte le distribuzioni barometriche relative alla superficie rigida di riferimento (comfort nullo per minimo scarico della pressione corporea) e le distribuzioni barometriche relative ai 2 modelli di sedili di trattore oggetti dell’analisi. Le condizioni di prova, ripetute per ciascun sedile e per ciascun utente, erano cinque:

- motore spento (postura richiesta: angolo ginocchio a 90°, preciso punto di presa del volante, successivi compiti di flessione dell’arto sinistro per chiusura porta laterale, torsione del busto e flessione arto destro per chiusura portellone posteriore e regolazione volante, Figura 3);



Figura 3 - Setting sperimentale a motore spento

- percorso su pista CRA-ING a circa 20 km/h (compiti richiesti: chiusura dispositivo parasole superiore, sbilanciamento nel verso di curva per visione margine della stessa, torsioni a destra e sinistra per simulare visione carico/attrezzi posteriori, Figura 4);



Figura 4 - Pista del CRA-ING (Treviglio)

- accelerazione su pista CRA-ING fino a circa 40 km/h;
- percorso su prato (compito richiesto: flessione in avanti del busto su uno o sull'altro lato, Figura 5);



Figura 5 - Percorso su prato

- percorso su terreno dissestato (Figura 6).



Figura 6 - Percorso su terreno dissestato

La raccolta dei dati si è svolta secondo la seguente procedura:

- accoglienza del soggetto e spiegazione dell'obiettivo della ricerca;
- raccolta dati anagrafici (sesso, età) e antropometrici (massa corporea e statura) e firma del modulo di consenso informato;
- regolazione del sedile in base alle caratteristiche antropometriche del soggetto, ponendo particolare attenzione all'altezza del piano di seduta, predisposto in modo tale da garantire l'uniformità dell'angolo al ginocchio, e alla distanza dal punto di presa del volante (questa fase veniva ripetuta per ciascuno dei 3 sedili utilizzati nella prova);
- istruzioni sui compiti da eseguire durante la misurazione (questa fase veniva svolta nelle condizioni di rilevazione a motore spento, su pista e su prato);
- rilevazione delle pressioni esercitate sul sedile di riferimento e sui 2 modelli di sedili di trattore nelle 5 condizioni sperimentali;
- ringraziamenti e congedo.

Calcolo degli indici di comfort

Le distribuzioni barometriche registrate sulla superficie rigida sono state analizzate e confrontate con quelle ottenute dalle superfici probande dei sedili, al fine di calcolare l'“Indice di comfort”. L'ipotesi alla base di tale indice, avvalorata dalla letteratura di settore, è che una superficie idealmente confortevole e rispondente alle esigenze dell'utilizzatore debba risultare un ottimo dissipatore del peso corporeo sulla propria superficie, garantendo un'adeguata distribuzione del carico e riducendo i picchi di pressione concentrati su superfici ridotte. Pertanto, dal confronto delle pressioni rilevate sui cuscini probandi con le corrispondenti pressioni raccolte sulla superficie rigida, e ponderando i valori in base ad un apposito algoritmo, si è proceduto calcolando un unico indice numerico (l'“Indice di comfort”, “IC”), che esprime quantitativamente il comfort strumentale dei 2 cuscini analizzati. Le tabelle del paragrafo relativo ai risultati riportano i parametri calcolati, e nello specifico:

- l'“Indice di Comfort” (dato principale e riassuntivo);
- le medie di pressione registrate dai sensori attivati;
- i picchi di pressione registrati dai sensori attivati;
- i medesimi “Indici di comfort” stratificati in funzione di tre classi di indice di massa corporea dei soggetti (“leggeri”, di media corporatura e “pesanti”).

Analisi statistiche sugli indici di comfort

Gli indici di comfort calcolati sono stati analizzati mediante analisi di varianza (ANOVA) per indagare l'eventuale effetto di variabili quali la differente imbottitura e conformazione dei due sedili, le cinque condizioni sperimentali predisposte (a motore spento, su pista a 20 e 40 km/h, su prato a 10 km/h e su terreno dissestato a 8 km/h) e la corporatura dei soggetti (leggera, media e pesante).

Risultati

Indici di comfort

I grafici di Figura 7 e Figura 8 visualizzano le pressioni ed i picchi medi registrati sui due sedili nelle cinque differenti condizioni.

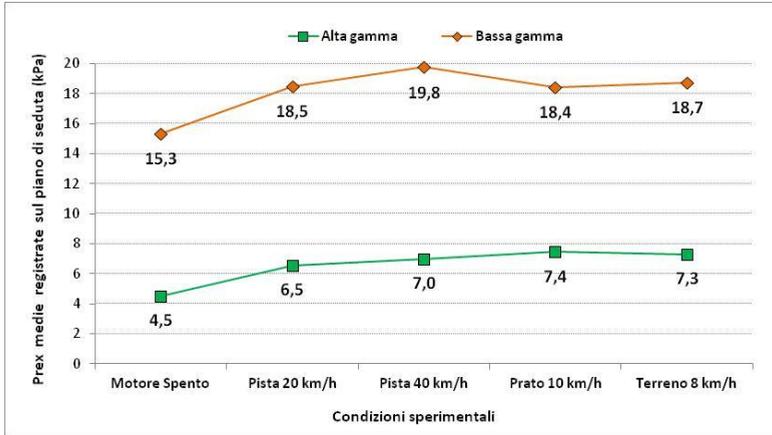


Figura 7 - Pressioni medie (kPa) registrate sui piani di seduta dei 2 sedili

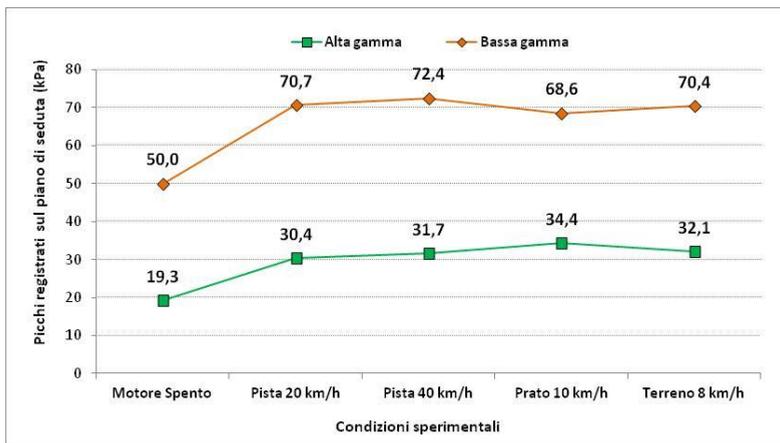


Figura 8 - Picchi di pressioni (kPa) registrati sui piani di seduta dei 2 sedili

Descrittivamente, risulta evidente la differenza tra le pressioni medie ed i picchi registrati sui due sedili. In entrambi i casi e come prevedibile, i valori misurati sono stati di gran lunga superiori nel caso del sedile di “bassa gamma”.

Il leggero aumento riscontrato nei due parametri in esame tra la condizione a motore spento e quelle dinamiche potrebbe essere dovuto al modificarsi della % di carico scaricato attraverso il sedile ed attraverso gli arti inferiori, che nelle condizioni dinamiche erano utilizzati dagli operatori per l’azionamento dei pedali. Gli aumentati picchi di pressione riscontrati in tali condizioni, inoltre, derivavano probabilmente dai contraccolpi del meccanismo di ammortizzazione.

Gli Indici di comfort misurati nelle 5 condizioni sono riassunti nelle Tabelle 3 e 4. Le tre fasce colorimetriche utilizzate si riferiscono alle tre classi di I.M.C. (“leggeri”, di media corporatura e “pesanti”).

Tabella 3 - Indici di comfort del sedile di gamma medio-alta

Soggetto (n.)	I.M.C. (kg/m ²)	Condizioni di prova				
		Motore spento	Pista 20 km/h	Pista 40 km/h	Prato	Terreno
10	17,3	0,99	0,82	0,85	0,22	0,15
9	18,7	1,36	0,59	0,50	0,17	0,13
2	20,2	0,91	0,29	0,37	0,91	0,58
8	20,7	0,38	0,17	0,06	0,00	0,12
5	22,3	0,59	0,58	0,49	0,51	0,18
12	22,5	0,68	-0,07	-0,10	0,19	-0,12
1	23,0	2,89	0,63	0,38	0,33	0,22
3	24,5	0,71	0,78	1,13	0,38	0,33
11	25,3	0,59	1,05	0,36	0,58	1,19
4	26,9	1,42	1,68	1,31	2,60	1,22
7	27,3	0,83	0,68	0,43	-0,02	-0,03
6	27,7	1,14	0,21	0,01	0,58	0,18
Media		1,04	0,62	0,48	0,54	0,35
Dev.st.		0,66	0,46	0,43	0,70	0,44

Tabella 4 - Indici di comfort del sedile di gamma bassa

Soggetto (n.)	I.M.C. (kg/m ²)	Condizioni di prova				
		Motore spento	Pista 20 km/h	Pista 40 km/h	Prato	Terreno
10	17,3	-0,31	-0,46	-0,47	-0,79	-0,54
9	18,7	-0,53	-0,45	-0,66	-0,28	-0,40
2	20,2	-0,29	-0,22	-0,30	-0,47	-0,49
8	20,7	-0,25	-0,24	-0,28	-0,15	-0,11
5	22,3	-0,05	-0,19	-0,23	-0,11	-0,11
12	22,5	-0,23	-0,47	-0,50	-0,39	-0,40
1	23,0	-0,33	-0,62	-0,72	-0,33	-0,35
3	24,5	-0,16	-0,24	-0,37	-0,26	-0,22
11	25,3	-0,23	-0,27	-0,09	-0,06	0,09
4	26,9	-0,60	-0,53	-0,69	-0,61	-0,59
7	27,3	-0,35	-0,20	-0,26	-0,13	-0,11
6	27,7	-0,35	-0,32	-0,29	-0,19	-0,13
Media		-0,34	-0,36	-0,40	-0,27	-0,22
Dev.st.		0,15	0,17	0,25	0,19	0,23

I medesimi valori medi sono visualizzati nel grafico di Figura 9.

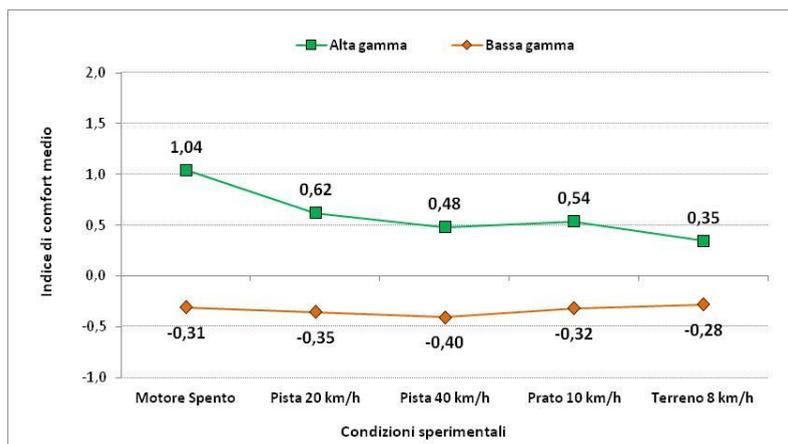


Figura 9 - Indici di comfort medi registrati sui piani di seduta dei 2 sedili

Il primo dato che emerge con evidenza è che l'I.C. medio del sedile di bassa gamma è in tutte le condizioni inferiore rispetto a quello del sedile di medio-alta gamma.

Il dato medio di comfort strumentale misurato è stato inoltre in tutte le condizioni negativo, risultato che indica come la sua risposta barometrica complessiva fosse addirittura peggiore di quella del sedile rigido di riferimento.

Il risultato è probabilmente dovuto alla ridotta superficie ed ai bordi conformati del sedile di gamma bassa.

La significatività statistica di tali differenze è stata vagliata mediante analisi della varianza, i cui risultati sono riportati nel paragrafo successivo.

Pur essendo i 3 sottogruppi relativi alla corporatura numericamente ridotti si è scelto di valutare comunque l'eventuale effetto della stessa sugli I.C. (Tabella 5 e grafici di Figura 10-14, per le 5 condizioni sperimentali).

Tabella 5 - Indici di comfort (I.C.) medi in funzione delle corporature e delle condizioni sperimentali

I.C. medi	Condizioni di prova									
	Motore spento		Pista 20 km/h		Pista 40 km/h		Prato		Terreno	
	Gamma alta	Gamma bassa	Gamma alta	Gamma bassa	Gamma alta	Gamma bassa	Gamma alta	Gamma bassa	Gamma alta	Gamma bassa
Leggeri	0,9	-0,35	0,5	-0,35	0,4	-0,43	0,3	-0,43	0,2	-0,39
Medi	1,2	-0,19	0,5	-0,38	0,5	-0,46	0,4	-0,27	0,2	-0,27
Pesanti	1,0	-0,38	0,9	-0,33	0,5	-0,33	0,9	-0,25	0,6	-0,19

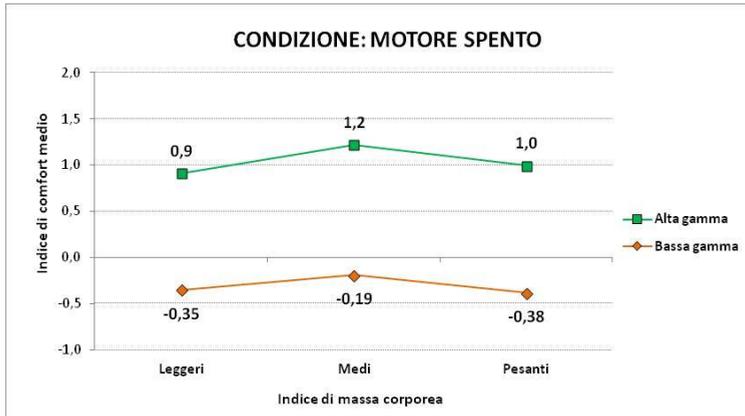


Figura 10 - Valori medi dell'I.C. nella condizione di prova n. 1, per classe di corporatura del conducente nei due sedili considerati.

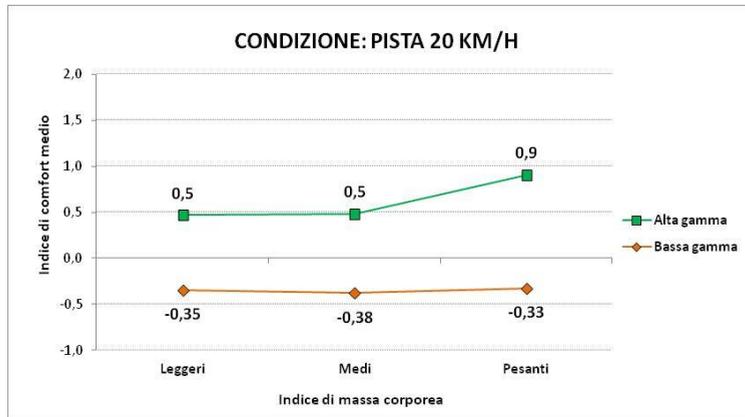


Figura 11 - Valori medi dell'I.C. nella condizione di prova n. 2, per classe di corporatura del conducente nei due sedili considerati.

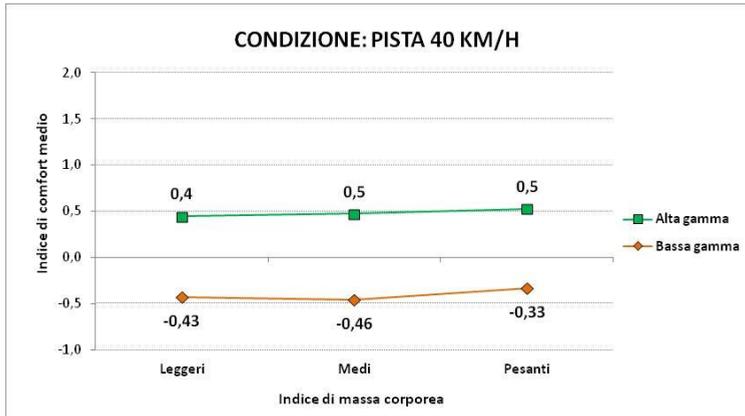


Figura 12 - Valori medi dell'I.C. nella condizione di prova n. 3, per classe di corporatura del conducente nei due sedili considerati.

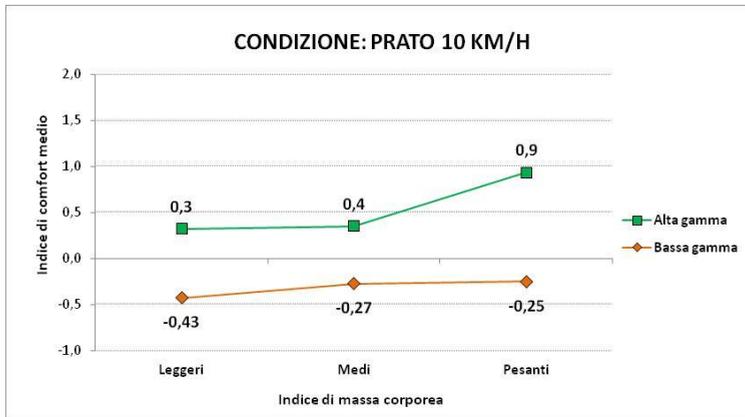


Figura 13 - Valori medi dell'I.C. nella condizione di prova n. 4, per classe di corporatura del conducente nei due sedili considerati.

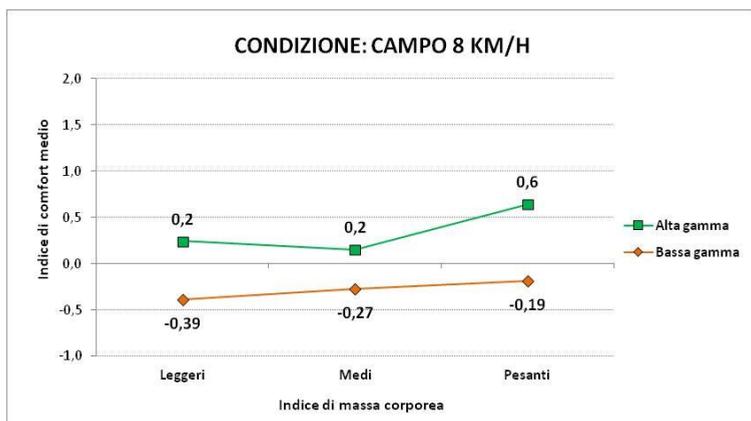


Figura 14 - Valori medi dell'I.C. nella condizione di prova n. 5, per classe di corporatura del conducente nei due sedili considerati.

Dall'analisi dei grafici si evince come non sia possibile escludere un effetto della diversa corporatura degli utenti: sarà tuttavia necessario raccogliere un maggior numero di rilevazioni per approfondire la relazione tra indice di massa corporea e Indice di comfort.

Analisi statistica

Sugli indici di comfort calcolati è stata condotta una analisi di varianza (ANOVA) per indagare l'eventuale effetto di tre fattori:

- la differente imbottitura e conformazione dei due sedili (2 livelli: sedile di alta e bassa gamma);
- le condizioni sperimentali (5 livelli: a motore spento, su pista a 20 e 40 km/h, su prato a 10 km/h e su terreno dissestato a 8 km/h);
- la corporatura dei soggetti (3 livelli: leggera, media e pesante).

L'ANOVA condotta ha dato i seguenti risultati:

Tabella 6 - Risultati analisi della varianza considerando 3 fattori

ANOVA: Design 3 Factors		
IMC	F(2,9) = 1,72	p<0,233516
Condizioni sperimentali	F(4,36) = 4,45	p<0,005017
Sedile	F(1,9) = 36,2	p<0,000198
IMC*Condizioni sperimentali	F(8,36) = 1,04	p<0,425057
IMC*Sedile	F(2,9) = 0,265	p<0,773224
Condizioni sperimentali*Sedile	F(4,36) = 3,99	p<0,008853
IMC*Condizioni sperimentali*Sedile	F(8,36) = 0,445	p<0,885769

In linea con le aspettative, visto il ridotto numero costituente i tre sottogruppi del fattore "Indice di massa corporea" (IMC), esso non è risultato statisticamente significativo. Si è deciso pertanto di accorpare i dati e ricondurre l'ANOVA con 2 soli fattori, i cui risultati sono riportati in Tabella 7:

Tabella 7 - Risultati dell'analisi della varianza considerando 2 fattori

ANOVA: Design 2 Factors		
<i>Sedile</i>	$F(1,11) = 41,8$	$p < 0,000046$
<i>Condizioni sperimentali</i>	$F(4,44) = 4,42$	$p < 0,004330$
<i>Condizioni sperimentali*Sedile</i>	$F(4,44) = 4,44$	$p < 0,004240$

Stante la significatività dell'interazione tra i due fattori ($F = 4,4$, $p < 0,01$) si è proceduto con il commento di tale risultato e non con quello dei singoli effetti principali sei fattori "Sedile" e "Condizioni sperimentali". L'andamento del grafico della precedente Figura 9 ed i dati emersi dall'analisi di varianza condotta sembrano evidenziare da un lato la netta differenza tra i due sedili nella qualità delle prestazioni barometriche misurate mediante gli Indici di comfort, e dall'altro il ridursi di tale differenza a mano a mano che ci si "sposta" verso condizioni operative più gravose (da motore spento a pista, a prato, a terreno dissestato).

Il sedile denominato di "Alta gamma", quindi, è molto più confortevole di quello di "Bassa gamma" nella condizione a motore spento (assenza di contraccolpi e vibrazioni), ma tende a perdere questo vantaggio prestazionale in termini di comfort strumentale nelle condizioni via via associate, ad esempio, ad aumentati picchi di pressione, dovuti ai contraccolpi e sobbalzi derivanti dal terreno sconnesso o dalla velocità.

Il sedile di "bassa gamma", in base alle nostre rilevazioni, ha invece avuto prestazioni statisticamente non differenti nelle 5 diverse condizioni sperimentali (ANOVA, $F(4,44) = 2,18$, $p < 0,1$).

Si ritiene che la tendenza alla significatività emersa sia dovuta ai valori registrati nella condizione "Pista 40 km/h", come evidenziato dal successivo approfondimento.

Tabella 8 - Analisi statistica delle cinque condizioni di prova mediante t-test

PAIRWISE COMPARISONS		
[Motore spento]vs[Pista 20 km/h]	$t(11)=1,11$	$p < 0,2897$
[Motore spento]vs[Pista 40 km/h]	$t(11)=2,18$	$p < 0,0518$
[Motore spento]vs[Prato]	$t(11)=0,12$	$p < 0,9029$
[Motore spento]vs[Terreno dissestato]	$t(11)=0,51$	$p < 0,6225$
[Pista 20 km/h]vs[Pista 40 km/h]	$t(11)=1,89$	$p < 0,0860$
[Pista 20 km/h]vs[Prato]	$t(11)=0,70$	$p < 0,4983$
[Pista 20 km/h]vs[Terreno dissestato]	$t(11)=1,48$	$p < 0,1657$
[Pista 40 km/h]vs[Prato]	$t(11)=1,61$	$p < 0,1350$
[Pista 40 km/h]vs[Terreno dissestato]	$t(11)=3,03$	$p < 0,0114$
[Prato]vs[Terreno dissestato]	$t(11)=1,28$	$p < 0,2265$

I valori barometrici registrati nella condizione "Pista 40 km/h" erano pertanto gli unici nelle misurazioni condotte a differenziarsi significativamente, per lo meno rispetto alle condizioni "Motore spento", "Pista 20 km/h" e Terreno dissestato.

Approfondendo infine mediante t-test la differenza tra i due sedili nelle diverse condizioni sperimentali (sempre presente, Tabella 9), si nota come essa sia particolarmente significativa a “motore spento” e nelle due rilevazioni su pista, mentre tenda a ridursi leggermente come anticipato nelle due condizioni più gravose (“Prato” e “Terreno dissestato”).

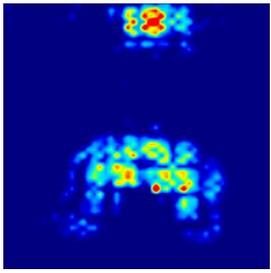
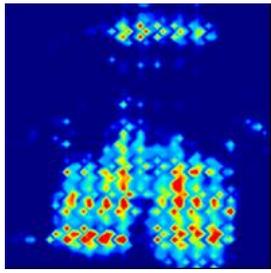
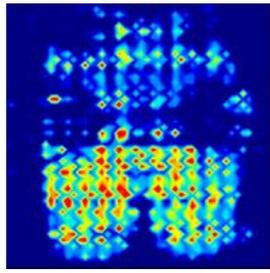
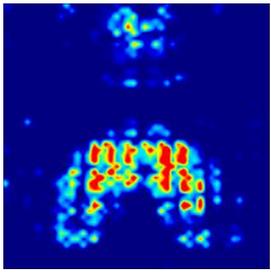
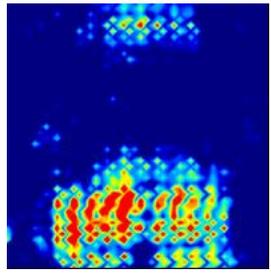
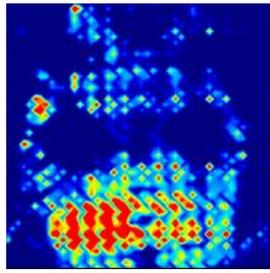
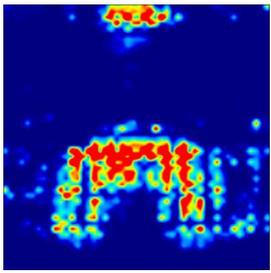
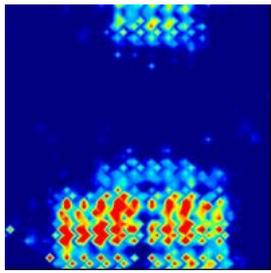
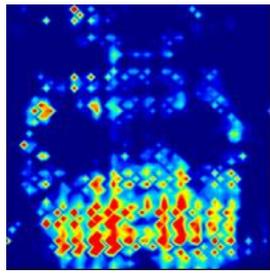
Tabella 9 - Analisi statistica dei due sedili di prova mediante t-test

PAIRWISE COMPARISONS		
[Alta gamma_Motore spento]vs[Bassa gamma_Motore spento]	t(11)=6,30	p< 0,0001
[Alta gamma_20 km/h]vs[Bassa gamma_20 km/h]	t(11)=6,50	p< 0,0001
[Alta gamma_40 km/h]vs[Bassa gamma_40 km/h]	t(11)=5,78	p< 0,0001
[Alta gamma_Prato]vs[Bassa gamma_Prato]	t(11)=3,61	p< 0,0041
[Alta gamma_Terreno dissestato]vs[Bassa gamma_Terreno dissestato]	t(11)=4,43	p< 0,001

Visualizzazione colorimetrica

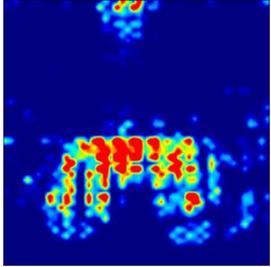
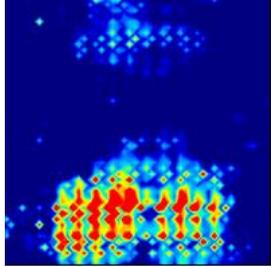
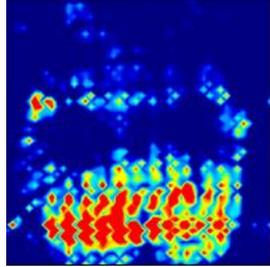
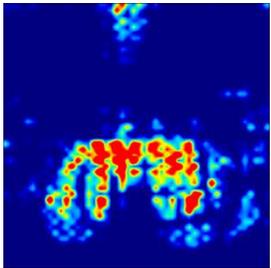
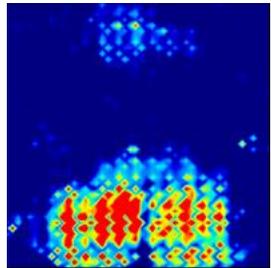
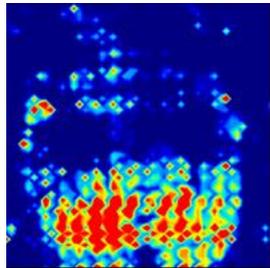
Le tabelle successive (Tabelle 10-14) riportano a titolo esemplificativo, per ognuno dei due sedili analizzati, le immagini colorimetriche delle barometrie relative ai soggetti n. 3, 6 e 9 nelle 5 differenti condizioni sperimentali.

Tabella 10 - Immagini colorimetriche delle barometrie con il sedile di "Gamma bassa".

Gamma bassa		
Motore spento		
Leggero (soggetto n. 9)	Media corporatura (soggetto n. 3)	Pesante (soggetto n. 6)
		
Pista 20 km/h		
Leggero (soggetto n. 9)	Media corporatura (soggetto n. 3)	Pesante (soggetto n. 6)
		
Pista 40 km/h		
Leggero (soggetto n. 9)	Media corporatura (soggetto n. 3)	Pesante (soggetto n. 6)
		

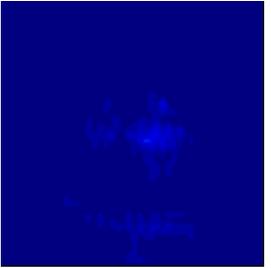
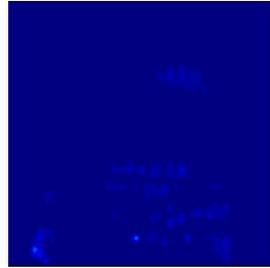
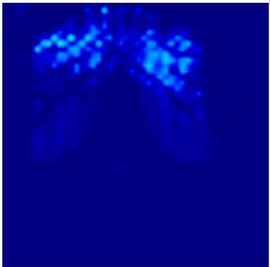
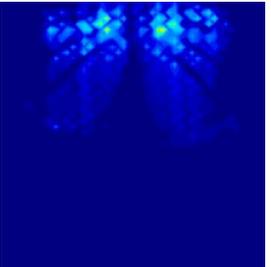
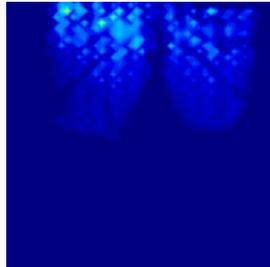
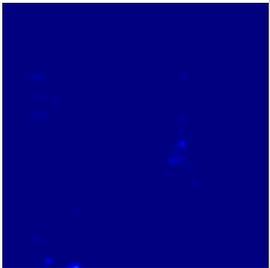
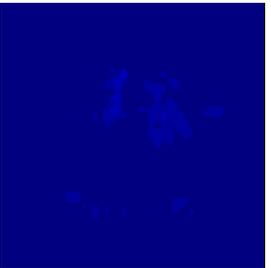
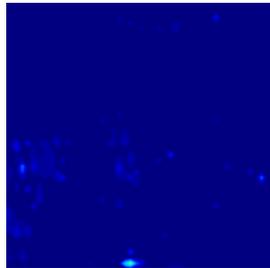
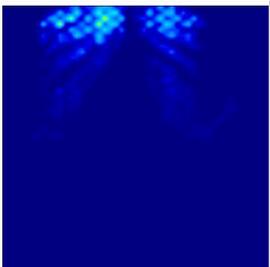
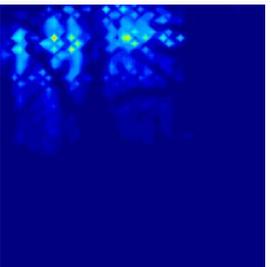
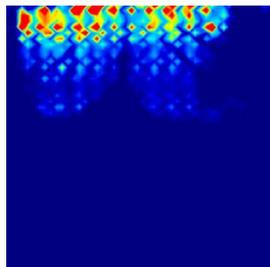
Nota: le distribuzioni barometriche associate al piano di seduta ed allo schienale, viste le ridotte dimensioni del sedile in esame, hanno potuto essere rilevate utilizzando un solo sensore.

Tabella 11 - Immagini colorimetriche delle barometrie con il sedile di "Gamma bassa".

Gamma bassa		
Prato		
Leggero (soggetto n. 9)	Media corporatura (soggetto n. 3)	Pesante (soggetto n. 6)
		
Terreno dissestato		
Leggero (soggetto n. 9)	Media corporatura (soggetto n. 3)	Pesante (soggetto n. 6)
		

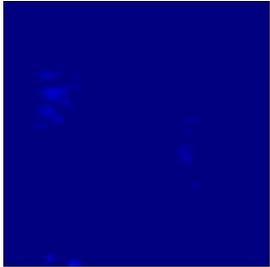
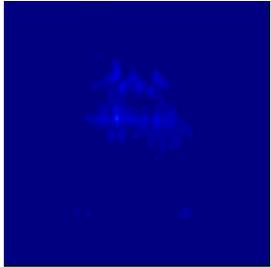
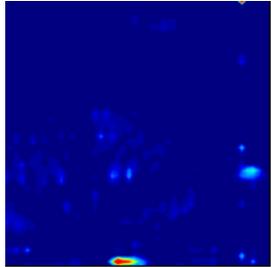
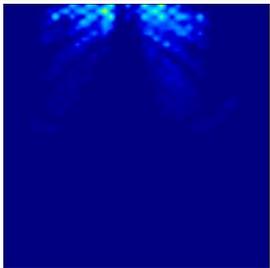
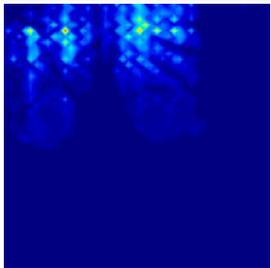
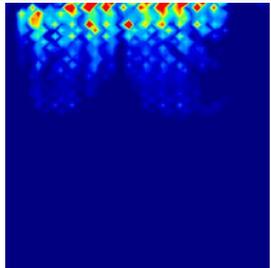
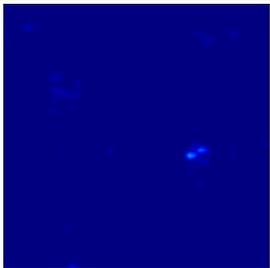
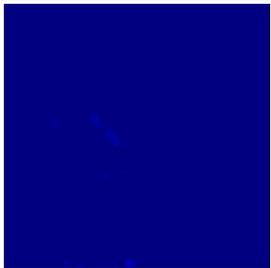
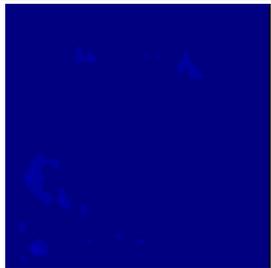
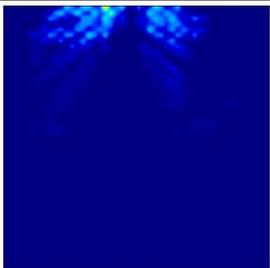
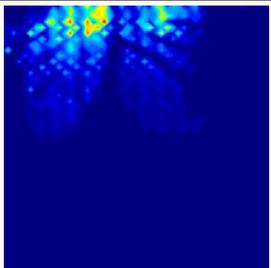
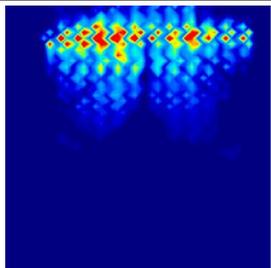
Nota: le distribuzioni barometriche associate al piano di seduta ed allo schienale, viste le ridotte dimensioni del sedile in esame, hanno potuto essere rilevate utilizzando un solo sensore.

Tabella 12 - Immagini colorimetriche delle barometrie con il sedile di "Gamma alta".

Gamma alta		
Motore spento		
Leggero (soggetto n. 9)	Media corporatura (soggetto n. 3)	Pesante (soggetto n. 6)
		
		
Pista 20 km/h		
Leggero (soggetto n. 9)	Media corporatura (soggetto n. 3)	Pesante (soggetto n. 6)
		
		

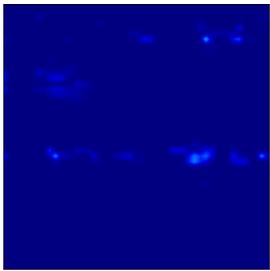
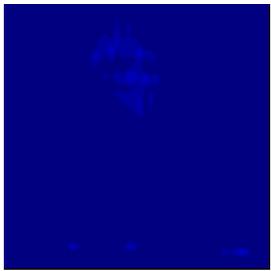
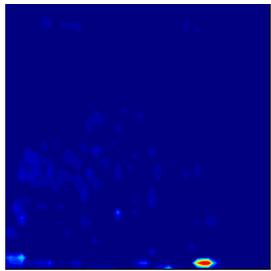
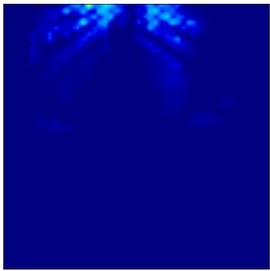
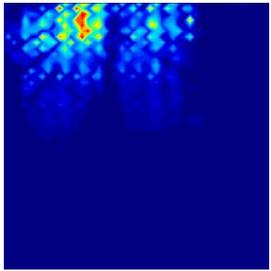
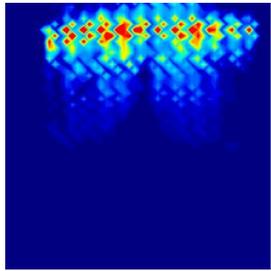
Nota: l'immagine superiore si riferisce allo schienale, quella inferiore al piano di seduta.

Tabella 13 - Immagini colorimetriche delle barometrie con il sedile di "Gamma alta".

Gamma alta		
Pista 40 km/h		
Leggero (soggetto n. 9)	Leggero (soggetto n. 9)	Leggero (soggetto n. 9)
		
		
Prato		
Leggero (soggetto n. 9)	Leggero (soggetto n. 9)	Leggero (soggetto n. 9)
		
		

Nota: l'immagine superiore si riferisce allo schienale, quella inferiore al piano di seduta.

Tabella 14 - Immagini colorimetriche delle barometrie con il sedile di “Gamma alta”.

Gamma alta		
Terreno dissestato		
Leggero (soggetto n. 9)	Leggero (soggetto n. 9)	Leggero (soggetto n. 9)
		
		

Conclusioni

L'applicazione dell'“Indice di comfort”, indicatore numerico sviluppato e validato da ErgoCert, alla valutazione di due tipologie di sedili di trattore (“medio-alta” e “bassa” gamma) ha consentito di quantificare la qualità della loro risposta barometrica in cinque differenti condizioni sperimentali (a motore spento, su pista a 20 e 40 km/h, su prato a 10 km/h e su terreno dissestato a 8 km/h). L'analisi delle distribuzioni pressorie, raccolte presso il CRA-ING di Treviglio su 12 possibili utenti (4 “leggeri”, 4 di media corporatura e 4 “pesanti”) e la successiva analisi statistica condotta sugli indici di comfort ottenuti, hanno evidenziato come in tutte e cinque le diverse condizioni le prestazioni barometriche del sedile di fascia economica fossero significativamente inferiori rispetto a quelle del sedile di “medio-alta gamma”, entrambi montati su sospensione meccanica. Non è invece emerso un effetto significativo della corporatura dei soggetti. Tale risultato conferma come l'“Indice di comfort” sia un indicatore in grado di differenziare la proprietà di distribuzione del carico di diverse superfici (il parametro oggettivo più correlato con il comfort percepito), che divengono oggettivamente confrontabili vista la presenza di un criterio di normalizzazione (il Sedile Rigido di Riferimento, cui è assegnato comfort nullo). La differenza in termini di comfort strumentale tra i due sedili è con tutta probabilità dovuta alla qualità dell'imbottitura ed alla differente conformazione degli stessi.

In particolare, il risultato addirittura negativo del modello economico è certamente influenzato dalla ridotta superficie e dai bordi conformati del sedile, che non permettono l'adeguata accoglienza di utenti appartenenti ai percentili antropometrici più alti. Il

fatto che il vantaggio prestazionale del sedile di “medio-alta gamma” tenda a ridursi nelle due condizioni più gravose (prato e terreno dissestato) è invece probabilmente attribuibile ai maggiori contraccolpi e sobbalzi del trattore, prodotti dal terreno su cui veniva condotta la prova, che tendono ad aumentare i picchi di pressione (che a loro volta producono un riduzione del comfort strumentale).

Le risultanze di tale ricerca, opportunamente approfondite, potranno essere applicate per integrare l’attuale procedura di omologazione dei sedili da trattore, che considera principalmente parametri vibrazionali, con nuovi standard ergonomici relativi agli aspetti costruttivi dei sedili (materiali e geometrie) ed alle caratteristiche e necessità biomediche e cognitive dell’utenza di riferimento.

Bibliografia

- Marcolin F. et al. 2002 – 2005. Glossario di ergonomia, INAIL Ed. Roma, revisione aggiornata.
- Taboga P., Marcolin F., Bordignon M, Antonutto G. 2012. Definizione e validazione del metodo di calcolo di un indice di comfort delle sedie da ufficio. *La medicina del Lavoro* 103 (1).
- Cohen D. 1998. An Objective Measure of Seat Comfort. *Aviat. Space Environ. Med.* 69: 410-414.
- De Looze M.P., Kujit-Evers L., Van Dieën J. 2003. Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics* (46): 985-997.
- Gross C.M., Goonettilleke R.S., Menon K.K. 1994. The biomechanical assessment and prediction of seat comfort. In: Lueder R., Noro K. eds. *Hard Facts About Soft Machines* p.: 231-253. London, Taylor & Francis.
- Hertzberger H.T.E. 1994. The human buttock in sitting: pressure patterns and palliatives. *Proc. of the Automotive Engineering Congress. Society of Automotive Engineers, N.Y., SAE Report 520005, 1972: 39-47* Lueder R., Noro K., EDS: *Hard Facts About Soft Machines. The Ergonomics of Seating.* London, Taylor & Francis,.
- Pheasant S. 1991. *Ergonomics, Work and Health.* London, Macmillan, p. 212-230.
- Vink P.2005. *Comfort and Design,* CRC Press, Florida.

Capitolo 8

Impatto dell'innovazione tecnologica sul carico di lavoro mentale alla guida di trattori: un contributo empirico

Maurizio Cutini⁽¹⁾, Simon Mastrangelo⁽²⁾, Cosimo Ostuni⁽²⁾, Francesco Di Nocera⁽³⁾

⁽¹⁾*CRA-ING, Treviglio (BG)*

⁽²⁾*Ergoproject Srl, Roma*

⁽³⁾*Sapienza Università di Roma*

Sommario

Il presente studio illustra i risultati di parte del Work Package (WP) 6 del progetto IN-TRAC con l'obiettivo di indagare il carico di lavoro mentale degli operatori mediante un approccio strumentale. Negli ultimi anni, infatti, particolare attenzione è stata dedicata al miglioramento del comfort fisico associato alla guida delle macchine agricole. Tuttavia, poche ricerche si sono occupate di indagare se con l'introduzione di macchine agricole sempre più evolute vi sia stato anche un miglioramento dal punto di vista del carico cognitivo imposto all'operatore. La presente ricerca ha investigato come varia il carico di lavoro mentale nei modelli di trattore di nuova generazione e più evoluti rispetto ai modelli di trattore tradizionali (anni 70-80). Hanno preso parte alla ricerca 15 operatori agricoli. Tempi di reazione, movimenti oculari e misure soggettive sono stati utilizzati per stimare il carico di lavoro mentale. I risultati ottenuti dall'analisi dei tempi di reazione e del NASA-TLX sembrerebbero mostrare un maggior carico di lavoro mentale nei modelli tradizionali rispetto ai modelli evoluti. L'ispezione dei dati oculari ha mostrato interessanti effetti nel comportamento visivo degli operatori nei due modelli di trattore. La presente ricerca rappresenta un punto di partenza per introdurre i temi legati al "comfort psicologico", vale a dire all'ergonomia cognitiva, in ambito agricolo. Ulteriori ricerche sono necessarie per chiarire i quesiti affrontati all'interno dello studio.

Introduzione

Negli ultimi anni particolare interesse è stato dedicato al miglioramento delle condizioni lavorative degli operatori di macchine agricole. Un cospicuo numero di studi si è occupato di indagare quegli aspetti volti a migliorare il comfort fisico degli operatori. Tra le varie problematiche affrontate si può citare la riduzione dell'esposizione al rumore all'interno delle cabine (Aybek et al., 2010), la progettazione delle sedute in base ai riferimenti antropometrici (Mehta et al., 2008) e lo studio del campo visivo dell'operatore (Chang et al., 2010). Sebbene vi sia stato un sostanziale interesse verso il miglioramento del comfort fisico, poche ricerche si sono occupate di indagare l'interazione cognitiva rispetto, ad esempio, all'utilizzo e monitoraggio dei dispositivi di informazione (es. display) e di comando (es. sollevatore), alla richiesta mentale e ai livelli di vigilanza associati alla guida del mezzo.

Tra le ricerche che hanno iniziato a occuparsi di ergonomia cognitiva è possibile individuare uno studio di inquadramento metodologico di Haapala e colleghi (2012) ed un lavoro sperimentale di Mann e colleghi (2013); nel primo caso si sottolinea l'importanza di adottare un approccio Human-Centred nell'introduzione di nuove tec-

nologie in ambito agricolo attraverso attività che ne valutino l'accettabilità e l'usabilità, mentre nel secondo si indaga la relazione tra i livelli di automazione e la prestazione lavorativa alla guida di macchine agricole, dimostrando come il monitoraggio di processi automatizzati (e.g. guida automatica in fase di semina) determini differenze significative nella performance (per esempio, in termini di minore carico di lavoro mentale) degli operatori.

Sebbene interessanti, questi lavori sono isolati e parziali rispetto ad altri ambiti affini. Basti prendere come riferimento il settore automobilistico nel quale, sin dagli anni sessanta (Brown e Poulton, 1961), le problematiche ergonomiche affrontate si sono progressivamente spostate dal dominio fisico a quello cognitivo (Senders et al., 1967).

Il presente studio si propone, da un lato, di ampliare le conoscenze finora raccolte sull'ergonomia cognitiva in ambito agricolo cercando di colmare il gap esistente con l'ergonomia fisica; dall'altro, di estendere gli studi sul carico di lavoro mentale visto che alcuni autori asseriscono che con l'introduzione dell'automazione vi sia stata una sostanziale riduzione del carico di lavoro mentale sperimentato dagli operatori (Young e Stanton, 2007) mentre altri suggeriscono che a causa del maggior numero di informazioni da monitorare (e.g. display) vi sia stato un aumento del carico di lavoro mentale globale (Reinartz e Gruppe, 1993).

Parte tecnica

Obiettivi della ricerca

Data la scarsità di studi specifici presenti in letteratura, la ricerca si configura come uno studio esplorativo e si pone due obiettivi. Da un lato, quello di indagare la presenza di eventuali differenze tra il carico di lavoro mentale associato alla guida dei modelli di trattore evoluti dotati di numerose funzioni automatiche e il carico di lavoro associato alla guida dei modelli di trattore tradizionali (i cui progetti risalgono agli anni '70-80); dall'altro, quello di rilevare le strategie di esplorazione visiva in due modelli rappresentativi di tali categorie allo scopo di valutare l'opportunità di impiegare metodi basati sull'emergente tecnologia dell'eye-tracking anche in questo ambito.

Metodo

Partecipanti

Hanno preso parte allo studio 15 soggetti (14 maschi) compresi tra i 23 ed i 64 anni (età media = 37,6; SD = 4,7) e sono stati utilizzati due modelli di trattore ("tradizionale" ed "evoluto"). Tutti i partecipanti avevano esperienza con i modelli di trattore da pieno campo. Quattordici su quindici avevano esperienza con il modello di trattore tradizionale; sette su quindici avevano esperienza con il modello di trattore evoluto.

Strumenti e condizioni sperimentali

Per indagare eventuali differenze nel carico di lavoro mentale e nel comportamento visivo degli operatori la presente ricerca ha impiegato misure comportamentali e misure soggettive. Come misure comportamentali sono stati utilizzati i tempi di reazione ed

i movimenti oculari degli operatori; mentre il questionario NASA-TLX¹ è stato impiegato come misura soggettiva.

Per la misura dei tempi di reazione, è stato adottato un paradigma del doppio compito come “Odd-ball” per investigare la richiesta mentale associata alla guida dei due modelli di trattore. Il principio alla base di tale paradigma deriva dai concetti enunciati dalla psicologia cognitiva ed in particolare dal concetto secondo cui gli individui presentano limitate capacità di elaborazione (Wickens, 2002). Più in dettaglio, il paradigma rappresenta un tipo di misurazione comportamentale del carico di lavoro mentale e prevede una misura dei tempi di reazione in parallelo, cioè mentre il soggetto è impegnato nello svolgimento di un’altra attività. Tanto più la richiesta mentale della prima attività (es. guida del trattore) è elevata tanto più elevati saranno i tempi di reazione del soggetto in risposta agli stimoli presentati. Nel contesto operativo specifico l’applicazione di tale paradigma ha previsto l’utilizzo di un pedale collegato ad un’applicazione per Smartphone attraverso un rete WI-FI. L’applicazione riproduceva degli stimoli sonori attraverso le cuffie collegate allo Smartphone. Agli operatori era richiesto, parallelamente all’attività di guida del trattore, di premere il pedale ogni qualvolta udivano uno stimolo sonoro più acuto (raro) rispetto agli stimoli standard (frequent). In accordo con altre evidenze presenti in letteratura, lo stimolo da individuare (target) aveva una frequenza più elevata (1100 Hz) rispetto agli stimoli più comuni (850 Hz). Inoltre la presentazione dello stimolo target avveniva con un’occorrenza pari al 25% rispetto agli stimoli standard, la quale è stata opportunamente randomizzata nelle diverse sequenze di suoni. I tempi di reazione venivano rilevati attraverso il pedale il quale, a sua volta, trasmetteva il segnale all’applicazione.

Per quanto riguarda i movimenti oculari, sono stati utilizzati degli occhiali Eye-tracking Tobii a 30 Hz². Tale strumento consente di comprendere dove cade l’attenzione dell’operatore, e per quanto tempo, attraverso un’analisi del numero e della durata delle fissazioni³ oculari. Nel contesto specifico, data la natura applicativa dello studio, l’eye-tracker è stato utilizzato per indagare il comportamento visivo e le modalità di interazione dell’operatore con la strumentazione interna nei due modelli di trattore. La catena strumentale è illustrata in Figura 1.

Per quanto riguarda infine le misure soggettive, è stato impiegato il NASA Task Load Index (TLX), il quale si configura come un strumento di valutazione soggettiva multidimensionale. Sviluppato dallo Human Performance Research Group delle NASA (Hart e Staveland, 1988) fornisce una stima del carico di lavoro associato ad una determinata attività valutando il contributo di sei dimensioni: richiesta mentale, richiesta fisica, richiesta temporale, performance, sforzo, frustrazione. Ad ogni dimensione corrisponde una sotto-scala ed i soggetti devono indicare quanto la richiesta di ciascuna dimensione è più o meno elevata per l’attività svolta. Nel caso specifico è stata impie-

¹ Questionario di valutazione soggettiva multidimensionale che fornisce una stima del carico di lavoro associato ad una determinata attività.

² Attraverso il suddetto dispositivo è possibile registrare l’audio, il punto di vista (POV) dell’operatore e il movimento oculare (fissazioni e saccadi) sovrapposto allo scenario visivo.

³ Messa a fuoco di un elemento attraverso la visione foveale (ampiezza di 1/2°) che è quella parte della vista che viene utilizzata per leggere e, più in generale, ogni qualvolta dobbiamo percepire/decodificare un messaggio/informazione su un monitor o altro manufatto. La fissazione, o foveazione, dura normalmente tra i 100 e i 600 ms.

gata la versione pesata dello strumento, che tiene conto del contributo individuale di ciascuna dimensione. In tal modo è possibile comprendere per quel particolare contesto di applicazione quale dimensione determina, in maggior misura, il carico di lavoro mentale. Il punteggio finale sarà quindi pesato, cioè calcolato sia sulla base delle sei sotto-scale (della prima parte) sia sulla base delle dimensioni che determinano in maggior misura il carico di lavoro mentale in quella attività.



Figura 1 – Catena strumentale utilizzata per la valutazione del carico di lavoro mentale: in primo piano il pedale collegato ad uno smartphone per la valutazione del “doppio compito”; indossati dall’operatore gli occhiali per il tracciamento oculare.

La presente ricerca è caratterizzata da un disegno sperimentale 2x2. Nello specifico, si sono definiti due task con diverso livello di difficoltà per i due modelli di trattore presi in esame. In particolare i task erano:

- trasferimento stradale o *baseline*;
- simulazione di un’operazione di erpicatura.

Nel trasferimento stradale le condizioni richieste erano:

- velocità di avanzamento costante (20 km/h);
- percorrenza di un anello di 500 m composto da due tratti rettilinei di circa 150 m uniti da due curve di 100 m;
- tempo di percorrenza di 10 minuti.

La simulazione di erpicatura prevedeva di impegnare l’operatore, oltre che alla guida del veicolo, anche nell’azionamento di una serie di comandi, in particolare la presa di potenza, il sollevatore posteriore ed i distributori idraulici.

Il task prevedeva di percorrere un tratto di pista, di circa 100 m, allestito con coni segnalatori e dossi rallentatori che avevano la funzione di indicare all’operatore le azioni da compiere. Nel dettaglio la sequenza delle operazioni richieste era:

- agire sui distributori idraulici per aprire l’erpice in posizione di lavoro;
- azionare il sollevatore posteriore per far abbassare l’erpice (senza farlo toccare a terra);
- avviare la presa di potenza (pdp);
- avviare il trattore a circa 10 km/h e seguire un percorso prestabilito;
- in prossimità di alcuni dossi, alzare il sollevatore posteriore;
- rallentare fino a circa 7 km/h;

- evitare di passare sui dossi (simulanti delle pietre);
- riabbassare l’erpice;
- riportarsi a 10 km/h;
- continuare a seguire il percorso sino al termine;
- fermare il trattore;
- alzare il sollevatore posteriore;
- spegnere la pdp;
- chiudere l’erpice in posizione di trasporto;
- effettuare una svolta di fine campo in uno spazio ristretto e delimitato;
- ripartire con la sequenza;
- tempo di percorrenza di 10 minuti (circa 4 ripetizioni della sequenza).

Procedura

Dopo una prima fase di raccolta dei dati anagrafici, i soggetti venivano invitati a partecipare alla fase di calibrazione dell’eye-tracker. Successivamente i soggetti venivano esposti ad una breve fase di familiarizzazione con la strumentazione interna del trattore (e.g. azionamento della pdp e del sollevatore) e con i due percorsi da portare a termine (i.e. baseline ed erpicatura). Parallelamente a questa fase, veniva condotta una sessione di prova con il compito secondario uditivo (odd-ball), in modo da consentire ai soggetti di familiarizzare con lo stimolo sonoro da rilevare e il grado di pressione da esercitare sul pedale in caso di risposta. Alla fine di ogni task veniva somministrato il NASA-TLX.

Risultati

Come precedentemente accennato, la presente ricerca ha impiegato tre misure: tempi reazione, movimenti oculari e NASA-TLX. Sia i tempi di reazione, sia i punteggi al NASA-TLX sono stati impiegati come variabili dipendenti in disegni ANOVA Trattore (Tradizionale vs. Evoluto) x Condizione (Baseline vs. Erpicatura). I dati oculari sono invece stati sottoposti unicamente a ispezione qualitativa in questa sede. I risultati delle analisi condotte sui tempi di reazione al compito secondario hanno mostrato l’esistenza di differenze significative tra i due modelli di trattore [$F(1,13)=4.90, p<0,05$], ma nessuna interazione significativa con il tipo di compito. In particolare i tempi di reazione al compito secondario risultano significativamente più lunghi nel modello di trattore tradizionale, suggerendo un’allocazione di risorse cognitive maggiori al compito primario (sia esso di semplice guida o di erpicatura). La Figura 2 mostra le medie dei tempi di reazione ottenute per i due modelli di trattore.

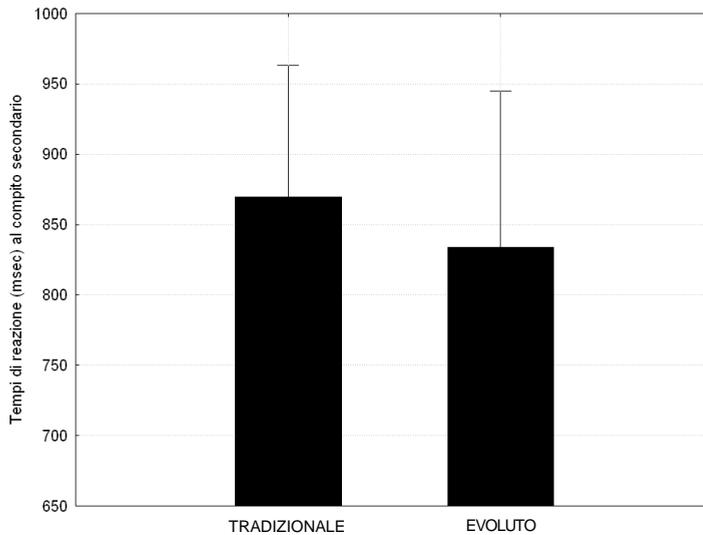


Figura 2 - Tempi di reazione al compito secondario nei due modelli di trattore.

Per quanto riguarda la misura dei movimenti oculari, l'analisi del comportamento visivo degli operatori sembrerebbe mostrare risultati diversi per i due tipi di task. In particolare, non sono emerse differenze apprezzabili nelle strategie di esplorazione visiva nei due modelli di trattore rispetto al primo task (attività di guida); di contro, nel secondo task (operazioni che simulavano l'attività di erpicatura) si sono osservate differenze sostanziali nei pattern di esplorazione dei soggetti in funzione del modello di trattore. Le differenze si osservano nelle fasi del secondo task in cui i soggetti sono impegnati a svolgere il percorso e non in quelle in cui i soggetti sono impegnati nelle attività di manovra. Le Figure 3 e 4 illustrano i clusters dei pattern di esplorazione nei due modelli utilizzati.



Figura 3 - Cluster relativo al secondo task nel modello tradizionale. Nella figura, in trasparenza sotto al cluster, sono visibili le fissazioni.

Da un punto di vista qualitativo è possibile osservare come nel modello evoluto (Figura 4) l'esplorazione visiva si estenda in maniera consistente verso l'esterno (in particolare verso gli specchietti) e verso la strumentazione interna (cruscotto), rispetto al modello

di trattore tradizionale in cui l'esplorazione sembra essere circoscritta perlopiù verso l'esterno del trattore (Figura 3).



Figura 4 - Clusters relativi al secondo task nel modello evoluto. Nella figura, in trasparenza sotto ai clusters, sono visibili le fissazioni.

I risultati delle analisi condotte sui punteggi al NASA-TLX hanno mostrato un effetto di interazione compito x trattore [$F(1,13)=6.39$, $p<0,05$]. Il test post-hoc di Duncan ha mostrato come questo effetto sia determinato dalla differenza nei punteggi relativi la condizione di erpicatura: il carico di lavoro soggettivamente riportato durante l'uso del trattore tradizionale era significativamente superiore a quello riportato durante l'uso del modello evoluto. La Figura 5 mostra le medie dei punteggi del NASA-TLX per i due task nei due modelli di trattore. Le figure 6a e 6b mostrano invece i punteggi grezzi nelle singole scale (MD = Mental Demand; PD = Physical Demand; TD = Temporal Demand; E = Effort; P = Performance; F = Frustration).

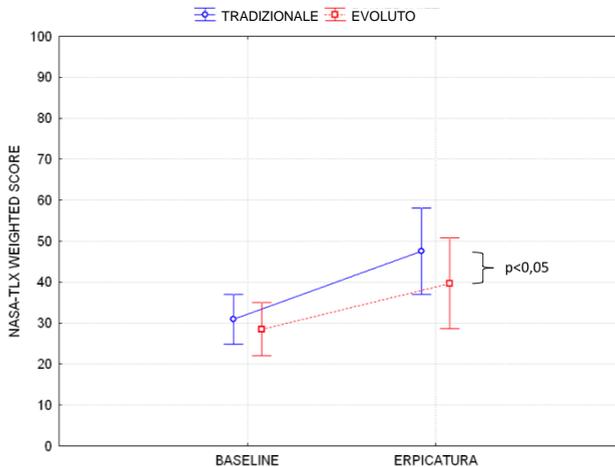


Figura 5 - Medie dei punteggi pesati del NASA-TLX nelle diverse condizioni sperimentali, separatamente per tipologia di trattore.

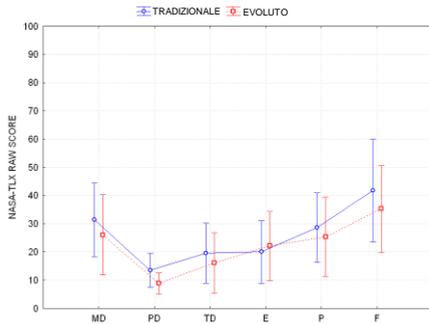


Figura 6a - Punteggi grezzi nelle sottoscale del NASA-TLX per la condizione di guida usata come baseline, separatamente per tipologia di trattore.

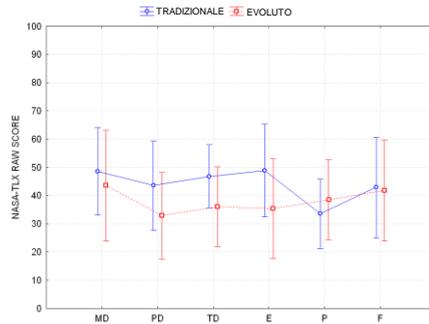


Figura 6b - Punteggi grezzi nelle sottoscale del NASA-TLX per la condizione di simulazione di una erpicatura, separatamente per tipologia di trattore.

Discussione

Gli obiettivi della presente ricerca erano da un lato quello indagare la presenza di eventuali differenze tra il carico di lavoro mentale associato alla guida dei modelli di trattore evoluto ed il carico di lavoro associato alla guida dei modelli di trattore tradizionale; dall'altro quella di rilevare eventuali differenze in termini di comportamento visivo nella guida dei due modelli.

I risultati ottenuti attraverso le analisi sui tempi di reazione al compito secondario e sui punteggi del NASA-TLX indicano un maggior carico di lavoro mentale associato all'uso del modello di trattore tradizionale rispetto al modello evoluto. L'effetto di interazione trattore x compito osservato per i punteggi del NASA-TLX potrebbe rispecchiare una differenza operativa dei due task. Mentre nel primo task i soggetti era impegnati esclusivamente nell'attività di guida, nel secondo task essi dovevano invece riprodurre una serie di operazioni che prevedevano una maggior interazione con la strumentazione interna. Tale differenza potrebbe giustificare un maggior carico di lavoro mentale esperito nel modello tradizionale limitatamente al compito di erpicatura.

Per quanto riguarda il comportamento visivo, l'analisi qualitativa delle strategie di esplorazione ha mostrato come nel modello di trattore evoluto sembrerebbe esserci una maggior propensione ad utilizzare gli specchietti esterni e la strumentazione interna rispetto al modello tradizionale, ma solo nel compito operativo. Tale risultato potrebbe essere dovuto, da un lato, a una maggiore visibilità degli specchietti esterni e, dall'altro, a una maggiore complessità del layout interno del trattore evoluto. La natura esplorativa dello studio non consente di fare ulteriori generalizzazioni sui fenomeni osservati.

Conclusioni

Questo studio ha indagato le variazioni nel carico di lavoro mentale associato alla guida di un modello di trattore evoluto rispetto a un modello di trattore tradizionale. Le evidenze raccolte sembrerebbero indicare un maggior carico di lavoro mentale nel modello di trattore tradizionale rispetto al modello di trattore evoluto, oltre che delle differenze relative al comportamento visivo degli operatori nei due modelli. Il tema trattato si colloca in un contesto di ricerca perlopiù inesplorato e gli effetti emersi necessitano di essere ulteriormente investigati per

colmare, così come avvenuto in ambito *automotive* (Akamatsu et al., 2013), il divario tra ergonomia cognitiva e fisica.

Bibliografia

- Akamatsu M., Green P., Bengler K. 2013. Automotive Technology and Human Factors Research: Past, Present and future. *International Journal of Vehicular Technology* , 1-27.
- Aybek A., Kamer A. H., Arslan S. 2010. Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. *Applied Ergonomics*, 41, 274-281.
- Brown D. I., Poulton C. E. 1961. Measuring the spare "mental capacity" of car drivers by a subsidiary task. *Ergonomics*, 4 (1), 35-40.
- Chang J. H., Fathallah F. A., Pickett W., Miller B. J., Marlenga B. 2010. Limitations in fields of vision for simulated young farm tractor operators. *Ergonomics*, 53 (6), 758-766.
- EGGEIMER F. T., WILSON G. F. 1991. Workload assessment in multi-task environments. In D. L. Damos, *Multiple task performance* p. 207-206. London: Taylor & Francis.
- HAAPALA H. E. 2012. The potential of User-centered Design (UCD) to make radical agricultural innovations. *Ergonomics, Safety and Health. International Conference of Agricultural Engineering-CIGR-AgEng; Agriculture and Engineering for a Healthier Life*.
- HART S. G., STAVELAND L. 1988. Development of a Multi-Dimensional Workload Rating Scale: Results of Empirical and Theoretical Research. In P. A. Hancock, N. Meshkati, *Human Mental Workload* p. 139-183. Amsterdam: Elsevier.
- MANN D. D., BASHIRI B., RAKHRA A. K. 2013. Automation and drivers' performance in agricultural semi-autonomous vehicles.
- MEHTA C. R., GITE L. P., PHARADE S. C., MAJUMDER J., PANDEY M. M. 2008. Review of anthropometric considerations for tractor seat design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, 546-554.
- REINARTZ S. J., GRUPPE T. R. 1993. Information requirements to support operator-automatic cooperation. *Human Factors in Nuclear Safety Conference*. London.
- SENDERS W. J., KRISTOFFERSON A. B., LEVISON W. H., DIETRICH, C. W. 1967. The attentional demand of automobile driving. *Highway research record*, 195, 15-33.
- WICKENS C. D. 2002. Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3 (2), 159-177.
- YOUNG M. S., STANTON, N. A. 2007. What's skill got to do with it? Vehicle automation and driver mental workload. *Ergonomics*, 50 (8), 1324-1339.

Capitolo 9

Valutazione soggettiva del comfort del posto di guida di trattori agricoli. Risultati di un'indagine tra gli operatori.

Federica Caffaro⁽¹⁾, Margherita Micheletti Cremasco⁽²⁾, Eugenio Cavallo⁽¹⁾

⁽¹⁾Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra (IMAMOTER), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)

⁽²⁾Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino

Sommario

Il presente studio illustra i risultati di parte del Work Package (WP) 6 del progetto INTRAC con l'obiettivo di indagare il comfort degli operatori mediante un approccio soggettivo ed antropometrico-funzionale. Il comfort percepito dagli operatori di macchine destinate ad essere utilizzate sui luoghi di lavoro, infatti, costituisce un elemento chiave nel determinare preferenze e comportamenti di acquisto e nel promuovere condizioni di impiego che aumentino la produttività e il benessere. Per quanto non sia presente in letteratura un concetto condiviso di comfort, numerosi autori concordano sulla sua natura soggettiva, elemento che rende fondamentale coinvolgere gli utenti in modo diretto nella sua valutazione; notevole importanza rivestono in particolare i giudizi dei novizi, utili al fine di individuare le principali criticità nell'uso di un prodotto. Oltre ai diversi livelli di esperienza è però opportuno considerare altri fattori che determinano una diversa percezione di comfort come, ad esempio, le differenze prettamente fisiche (antropometriche e funzionali) e cognitive degli operatori e le caratteristiche intrinseche del prodotto. La ricerca indaga il comfort percepito su due trattori agricoli, diversi per layout del posto di guida e per livello tecnologico. Lo studio è stato condotto su 18 operatori, novizi ed esperti. I dati relativi al comfort percepito sono stati raccolti mediante un questionario compilato al termine dello svolgimento di una serie di prove alla guida di entrambi i veicoli. È stata valutata la relazione tra i giudizi di comfort espressi dagli operatori, alcune caratteristiche antropometriche e funzionali dell'individuo e alcuni aspetti costruttivi del posto di guida dei due trattori. I risultati dello studio mettono in evidenza il maggior livello di comfort percepito sul trattore con più alto contenuto tecnologico. La posizione inattesa di alcuni comandi, o il loro funzionamento diverso dal previsto, sono i limiti fatti rilevare dai novizi su questa macchina. I risultati dello studio, seppur non esaustivo, evidenziano gli elementi su cui è utile concentrarsi in fase di progettazione del layout del posto di guida di trattori agricoli per assicurare che le tecnologie adottate concorrano realmente ad incrementarne il comfort e la facilità d'impiego.

Introduzione

Considerata la crescente attenzione per le tematiche di tipo ergonomico nell'ambito della progettazione di macchine agricole e la loro ancora scarsa integrazione con gli obiettivi tecnici ritenuti prioritari, il progetto INTRAC intende proporre metodologie e modelli per la valutazione del grado di integrazione tra aspetti tecnici ed ergonomici nei trattori agricoli. Lo studio interessa in modo particolare le cabine di guida, in quanto vere e proprie "postazioni di lavoro". In questo ambiente elementi quali la forza

richiesta per l'azionamento dei comandi, il rumore, le vibrazioni e l'intuitività dei dispositivi di comando e controllo assumono un ruolo fondamentale nella tutela della salute e del benessere dell'operatore. Questo studio propone un approccio ergonomico per indagare gli aspetti fisici e cognitivi che caratterizzano l'interazione uomo-macchina nello svolgimento di attività nel confronto tra due trattori agricoli con diverso layout del posto di guida e diverso contenuto tecnologico. In particolare, l'attività di ricerca mira ad indagare i livelli di comfort percepito dagli operatori durante lo svolgimento di diverse attività condotte su due trattori, ed esplorare la relazione tra i livelli di comfort e alcune caratteristiche fisiche degli utenti. Lo studio adotta una procedura di indagine *user-centred* (centrata sull'utente) le cui potenzialità applicative risultano particolarmente interessanti in relazione alle criticità cui prestare attenzione nella fase di progettazione. L'indagine è destinata, inoltre, a mettere in evidenza l'esigenza di formazione e addestramento degli operatori, per incentivare comportamenti corretti in particolare nell'utilizzo delle macchine a più alto livello tecnologico.

La percezione di comfort

Il comfort percepito dall'utilizzatore finale di una macchina agricola ha ricevuto attenzione crescente negli ultimi anni. I produttori lo ritengono infatti un elemento rilevante nel determinare i comportamenti di acquisto, poiché disporre di strumenti e equipaggiamenti confortevoli contribuisce a creare ambienti di lavoro salutari e che migliorano la performance (Krause e Bronkhorst, 2003). Considerata la notevole quantità di ore che gli operatori trascorrono sulle macchine e la complessa natura dei compiti che sono chiamati a svolgere (Mehta et al., 2008), due aspetti risultano particolarmente critici nel determinare la salute e il benessere dell'operatore (Vink e Hallbeck, 2012): 1) il comfort percepito nell'interazione fisica con spazi, sedute e consolle, determinato dall'interazione delle caratteristiche fisiche e dimensionali del singolo operatore con le dimensioni e la posizione di spazi e strumenti e 2) il comfort percepito nell'interazione cognitiva con i dispositivi di comando e controllo, dato da quanto la posizione ed il funzionamento di comandi e dispositivi risultano intuitivi e facilmente comprensibili. Il primo aspetto contribuisce a moderare gli effetti dannosi di alcune posture assunte nell'esecuzione di diversi compiti, come per esempio la torsione del busto che la guida spesso richiede per mantenere la visione posteriore (Mehta e Tewari, 2000), riducendo così il rischio di sviluppare disturbi muscoloscheletrici (Zimmermann et al., 1997; INAIL, 2012). Il secondo aspetto risulta fondamentale nell'agevolare la concentrazione durante l'attività, riducendo così il numero di errori nell'esecuzione (Vink, 2005). Per quanto riguarda gli aspetti fisici del comfort, devono essere analizzati aspetti quantitativi e qualitativi della variabilità umana che condizionano la relazione con gli artefatti in termini di contatto fisico, raggiungibilità e facilità d'uso. La variabilità antropometrica degli utenti e le loro diverse capacità biomeccaniche condizionano infatti la percezione di comfort non solo in relazione alla percezione dell'interfaccia fisica, del layout della seduta, dello schienale o del bracciolo, ma anche alla raggiungibilità dei comandi, condizionando l'efficienza del gesto (Gounter et al., 2012; Wang e Trasbot, 2011). Inoltre, dal punto di vista antropometrico bisogna tener conto del fatto che le caratteristiche fisiche delle persone non solo sono diverse per età, genere, origine genetica, costituzione e loro cambiamenti nel corso della vita (variabilità intra ed interindividuale) ma anche per differenze generazionali (*secular trend*). Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto è ampiamente documentato, ad esempio, un generale incremento

di statura in atto nelle popolazioni, ma anche di condizioni di eccesso ponderale (WHO, 2000). Le condizioni di sovrappeso e obesità riguardano sia la tendenza generale delle popolazioni sia, in particolare, la popolazione rurale (WHO, 2004) e condizionano fortemente l'uso di oggetti, strumenti, ambienti e la percezione del comfort d'uso. In relazione agli aspetti cognitivi del comfort, si tratta di investigare quanto i dispositivi presenti per esempio su una macchina rispondano alle attese dell'utente e, qualora risultino per lui nuovi, quanto sia immediatamente intuibile il loro utilizzo. Numerosi studi evidenziano come il modello mentale che un utente possiede della struttura e del funzionamento di un sistema abbia un ruolo importante nel definire la qualità dell'interazione dell'uomo con quel sistema (Norman, 1988). Il sistema deve inoltre fornire all'utente una serie di cosiddette *affordances*, ossia suggerimenti d'uso (Gibson, 1979), che rendano possibile all'utente dedurre intuitivamente le funzionalità, anche senza essere mai venuto in contatto con quel particolare sistema. I modelli mentali sono influenzati dall'esperienza pregressa con lo specifico sistema o sistemi simili e dal background tecnico dell'individuo: tanto maggiore è la discrepanza tra il modello dell'utente e quello del progettista che ha realizzato il sistema, tanto minori saranno l'efficacia, l'efficienza e la soddisfazione nell'interazione (Norman, 1988). Similmente, meno *affordances* il sistema offre e meno agevole ed immediato ne sarà l'utilizzo (Gibson, 1979). Vista l'evoluzione qualitativa e tecnologica cui sono andate incontro le macchine agricole negli ultimi decenni (Day et al., 2009), risulta importante indagare anche tali aspetti, al fine di individuare le criticità riportate nell'utilizzo della macchina e potervi intervenire in fase di formazione ed addestramento dell'operatore. La letteratura non fornisce definizioni univoche e condivise del concetto di comfort, ma vengono individuati alcuni elementi cardine del costrutto: (1) ha valenza positiva, in quanto sensazione di benessere, (2) ha natura soggettiva e personale, (3) è influenzato da diversi fattori fisici, fisiologici e psicologici, e (4) non è una proprietà intrinseca di uno strumento o di un ambiente ma si genera nella relazione tra questi e l'uomo (De Looze et al. 2003). Tali elementi evidenziano la necessità di porre al centro dell'attenzione l'operatore e la sua interazione con la macchina, considerando sia gli aspetti fisici e psicologici dell'individuo, sia le attività che egli è chiamato a compiere (Kuijij-Evers et al. 2003; Mehta & Tewari, 2000). Un contributo importante in tal senso può venire dall'adozione di un approccio ergonomico, basato sulla centralità dell'utente e sulla rilevanza dei suoi vissuti quando si rapporta ad artefatti e sistemi (Goodman-Deane et al., 2008). Tale approccio permette infatti di far emergere dagli stessi operatori gli aspetti critici su cui intervenire e i punti di forza da valorizzare per, da un lato, progettare un'interazione uomo-macchina funzionale, confortevole e soddisfacente e, dall'altro, proporre attività di formazione e addestramento efficaci nel facilitare il corretto utilizzo di nuove macchine e tecnologie (Marras e Karwowski, 2006). Importante risulta coinvolgere sia esperti che novizi nella valutazione: dai primi sarà possibile far emergere una lista dettagliata di problemi nell'utilizzo di una macchina o di un dispositivo, mentre i secondi forniscono utili indicazioni riguardo le problematiche più salienti (Sauer et al., 2010).

Metodo

Disegno sperimentale

Per l'indagine sono stati selezionati trattori agricoli che rappresentassero due diverse tipologie dell'attuale parco macchine agricole italiano, così da poter investigare quali

effetti l'evoluzione qualitativa del design della cabina e la crescente automazione potessero avere sui livelli di comfort percepito. La prima macchina (da qui in poi: Trattore 1) era equipaggiata di cambio manuale, mentre la seconda (di qui in avanti: Trattore 2) era dotata di cambio continuo (Continuously Variable Transmission, CVT). L'elettronica e la tecnologia giocano un ruolo fondamentale nel controllare e supervisionare la performance di questa seconda macchina, e la cabina è stata progettata per accogliere ed integrare tale tecnologia: sul bracciolo destro del sedile trovano posto un joystick, su cui sono collocati la maggior parte dei comandi, e uno schermo che visualizza la maggior parte delle informazioni utili all'operatore. I partecipanti allo studio sono stati selezionati in collaborazione con il CRA-ING ed erano rappresentativi di una realtà agricola del nord-est italiano. Hanno preso parte allo studio 18 operatori. La numerosità del campione è considerata soddisfacente in base a quanto evidenziato dalla letteratura relativa alle prove con utenti, che sottolinea come il coinvolgimento di tre/cinque operatori esperti che svolgono uno stesso compito sia sufficiente per far emergere i problemi d'uso (Jokela et al., 2003; Nielsen, 1994, 1995, 2000). Lo studio è stato realizzato nella settimana dal 5 al 9 maggio 2014 presso le strutture del Laboratorio CRA-ING di Treviglio ed è stato condotto e coordinato da due ricercatori, con l'aiuto di un assistente. I ricercatori hanno rilevato aspetti antropometrici e funzionali sulle persone fisiche, e somministrato un questionario sulla percezione di comfort. Sono inoltre state rilevate alcune caratteristiche costruttive e funzionali dei due trattori utilizzati nello studio, quali la dimensione delle superfici vetrate, l'altezza degli scalini d'accesso, l'ampiezza della cabina, e il rumore interno all'orecchio del conducente. Ai partecipanti è stato richiesto di guidare i due diversi modelli di trattori. La prova è stata eseguita su una pista. Gli operatori dovevano eseguire una serie di compiti rappresentativi di alcune attività svolte tipicamente in campo aperto, azionando alcuni attrezzi portati all'attacco a tre punti posteriore. I compiti simulavano l'aratura con la svolta in capezzagna e la guida su strada accidentata (riprodotta con dossi artificiali). È stato adottato un disegno sperimentale a quadrato latino: cioè tutti i partecipanti effettuavano la prova su entrambi i trattori, ma metà del campione iniziava su una macchina e l'altra metà sull'altra, in modo da limitare gli effetti di assuefazione, preferenza e affaticamento.

Misure

Rilevamenti antropometrici e funzionali

Prima dell'esecuzione delle prove sono stati rilevati una serie di parametri dimensionali e funzionali utili a identificare problemi di raggiungibilità, agilità e capacità di movimento che possono influenzare i giudizi di comfort percepito nello svolgimento dei diversi compiti. In particolare, per quanto riguarda i parametri antropometrici sono state rilevate statura e statura assisa, massa corporea, Indice di Massa Corporea (IMC)⁴, altezza poplitea⁵, larghezza massima dei fianchi in posizione assisa, presa di forza-gomito e presa di forza-parete⁶. I

⁴ *Indice di obesità definito dal rapporto tra il peso (in kg) e il quadrato della statura (in metri).*

⁵ *In base a quanto riportato negli standard antropometrici, si definisce "altezza poplitea" la distanza verticale dalla superficie del sedile orizzontale su cui poggiano completamente le cosce all'appoggio dei piedi su un piano orizzontale (angoli del ginocchio e delle caviglia a 90 gradi).*

⁶ *In base a quanto riportato negli standard antropometrici, si definiscono "presa di forza-gomito" e "presa di forza-parete" la distanza orizzontale di presa, rispettivamente dell'avambraccio e dell'intero braccio.*

rilevi sono stati eseguiti con strumenti e in posture uniformi, utilizzando i criteri dello standard ISO 7250-1 (2010), che definisce gli strumenti, le condizioni e le modalità di rilevamento, e le norme relative agli standard di database antropometrici (ISO/FDIS 15535:2006). Per quanto riguarda le caratteristiche funzionali degli individui, è stata misurata la forza della mano (*hand grip strenght*). Gli standard applicati per il rilevamento di questa grandezza fanno riferimento alle indicazioni della letteratura (Hamilton et al., 1994; Su et al., 1994; Mathiowetz et al., 1984; Richards et al., 1996; Teraoka, 1979), con postura di rilevamento che prevede il soggetto in postura assisa, con gomito circa a 90°, avambraccio e mano in appoggio su un piano orizzontale. Sono state eseguite tre prove per ogni lato, con alternanza tra gli antimeri (lato di destra/sinistra), per poi calcolare per ogni lato la media tra le tre prove (Hamilton et al., 1994) con la prova di inizio in alternanza per antimero. I valori sono espressi in Newton. Per le rilevazioni dei dati antropometrici sono stati impiegati strumenti quali un antropometro modello *GPM Siber-Hegner* (Figura 1a) e una *Bilancia Digitale TANITA TBF 35* (Figura 1b); in Figura 2 è possibile vedere una rappresentazione delle grandezze misurate con questi strumenti. Per il rilevamento della forza di prensione di tutta la mano è stato utilizzato un dinamometro digitale (*Baseline® Digital Smedley Spring*) (Figura 3).

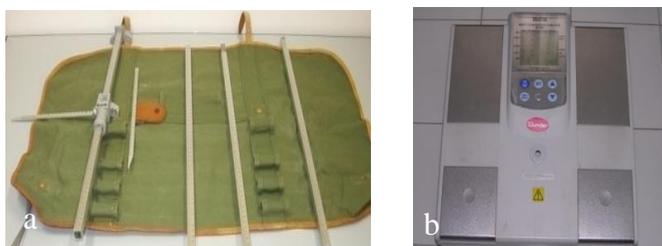


Figura 1 - Antropometro GPM Siber-Hegner (1a) e Bilancia Digitale TANITA TBF 35 (1b)

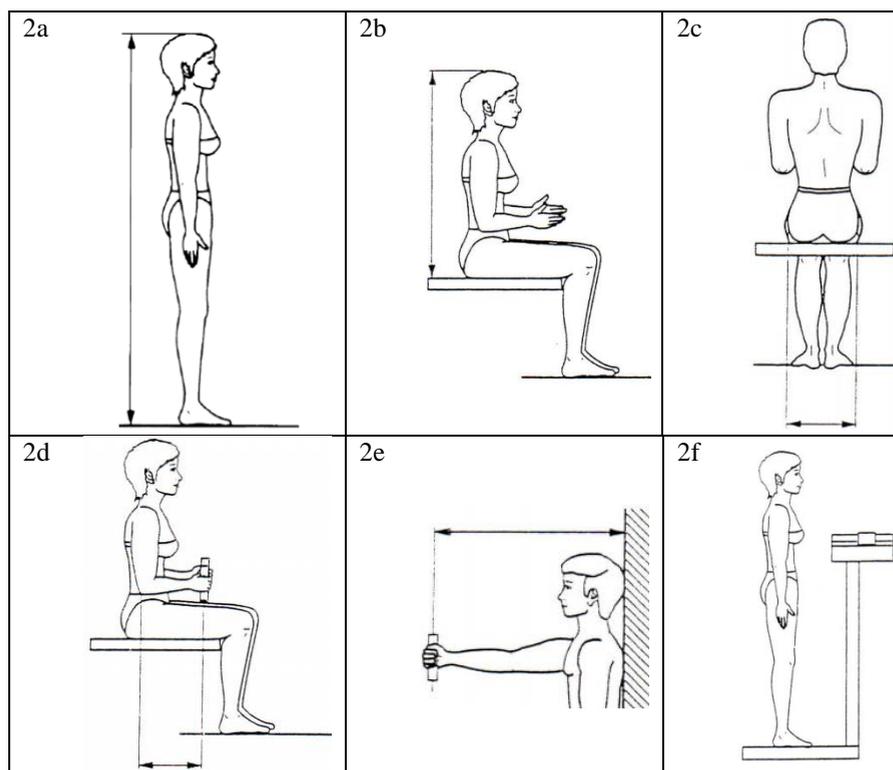


Figura 2 - Rappresentazioni delle grandezze rilevate: statura (2a, statura assisa (2b), larghezza fianchi assisa (2c), presa di forza-gomito (2d), presa di forza-parete (2e), massa corporea (2f).
Fonte: ISO 7250-1 (2010).



Figura 3 - Dinamometro digitale per il rilievo dell'hand grip

Misure soggettive

Per rilevare la percezione di comfort degli operatori è stato elaborato un questionario, basato sullo strumento proposto da Ferrari e Cavallo (2013), attraverso il quale i partecipanti dovevano esprimere il loro grado di accordo/disaccordo, su una scala graduata 1-6 (1=fortemente in disaccordo, 6=fortemente in accordo), rispetto ad una serie di affermazioni riguardanti aspetti fisici e cognitivi del comfort percepito durante

l'interazione con la macchina. In particolare, il questionario prevedeva 3 diverse sezioni:

I. Scheda anagrafica.

Raccoglieva le seguenti informazioni: a) dati socioanagrafici (età, sesso, professione, provenienza); b) stato di salute pregresso (fastidi/dolori percepito nelle diverse regioni corporee -es. regione lombare, cervicale e spalle, Corlett e Bishop, 1976- al termine della giornata lavorativa, presenza di disturbi visivi o uditivi), c) esperienza nell'utilizzo di macchine agricole e caratteristiche della macchina più utilizzata; d) propensione alla tecnologia (uso di computer e smartphone).

II. Giudizi di comfort - Familiarizzazione con la macchina (18 domande a risposta chiusa).

Subito dopo essere salito sul trattore e prima che gli venisse spiegato alcunché riguardo la stessa, venivano poste all'operatore alcune domande relative alla facilità di accesso alla cabina e regolazione di sedile e volante e alla facilità di individuazione di una serie di comandi (di accensione, regolazione del sedile e volante, luci ecc), al fine di valutare la qualità del primo contatto e preliminarmente interazione con la macchina.

III. Giudizi di comfort - Dopo l'esecuzione della prova (48 domande a risposta chiusa + due domande aperte).

Appena terminata la prova su ogni trattore, al partecipante veniva chiesto di esprimere il proprio giudizio riguardo a: rumore, vibrazioni e visibilità; facilità di azionamento dei comandi; raggiungibilità e comodità di sedile, volante e pedali; raggiungibilità e facilità di utilizzo di leve e pulsanti; qualità delle informazioni trasmesse da spie e display; qualità generale della macchina. Veniva infine richiesto di indicare aspetti particolarmente positivi o critici emersi durante lo svolgimento delle attività per entrambe le macchine.

Procedura

I partecipanti venivano accolti nei locali del CRA-ING e veniva loro illustrato l'obiettivo della ricerca e i diversi momenti in cui si sarebbe articolata. Venivano poi fatti accomodare ad un tavolo per compilare la scheda anagrafica (Figura 4).



Figura 4 - La compilazione della scheda anagrafica

Successivamente, venivano effettuati i rilevamenti antropometrici e funzionali (Figura 5) ed infine il partecipante veniva accompagnato in pista per le prove con il primo trattore.



Figura 5 - I rilevamenti biomeccanici e antropometrici

Subito dopo che l'operatore era salito sulla macchina, prima che i tecnici dessero indicazioni sul suo funzionamento, veniva somministrata la prima parte del questionario, relativa alla facilità di accesso alla cabina e intuitività dei comandi. Terminata la prova in pista, il partecipante veniva richiamato per compilare la seconda parte del questionario, relativa al comfort percepito durante lo svolgimento delle attività previste (Figura 6). La stessa procedura veniva poi ripetuta con il secondo trattore.



Figura 6 - Questionario sul comfort percepito durante lo svolgimento della prova.

Risultati

Caratteristiche dei partecipanti

Hanno preso parte allo studio 18 persone, 17 maschi e 1 femmina. L'età dei partecipanti era compresa tra i 21 e i 64 anni ($M=38.86$, $DS=13.02$). Diciassette operatori erano destrimani ed uno solo mancino. Tutti i partecipanti erano in possesso di patente di guida. Ognuno degli operatori aveva un diverso livello di esperienza nell'utilizzo di mezzi agricoli: da un minimo di 5 ad un massimo di 50 anni ($M=24.94$, $DS=13.21$). Gli operatori hanno dichiarato di trascorrere mediamente 5.83 ore al giorno alla conduzione di trattori agricoli (range 1-10, $DS=3.05$).

I partecipanti appartenevano a diverse categorie lavorative, comprendendo imprenditori (7 partecipanti), contoterzisti (3 partecipanti) e operai agricoli (8 partecipanti). Quattordici operatori hanno dichiarato di guidare abitualmente trattori agricoli, mentre 4 di farlo saltuariamente. Quattro dei partecipanti dichiaravano inoltre di avere esperienza di guida di macchine semoventi (per esempio mietitrebbie), solamente uno di trattori da vigneto.

Il breve questionario di screening sulle condizioni di salute pregresse ha rivelato come 3 partecipanti su 18 avessero problemi di vista, corretti attraverso l'uso di lenti, e 2 su 18 una diminuita capacità uditiva per una delle due orecchie. Dieci partecipanti su 18 hanno riportato disturbi muscolo scheletrici, in particolare di avvertire fastidio/dolore a qualche parte del corpo al termine delle giornate lavorative, in particolare nella zona del collo, lombo-sacrale e delle ginocchia (Figura 7).

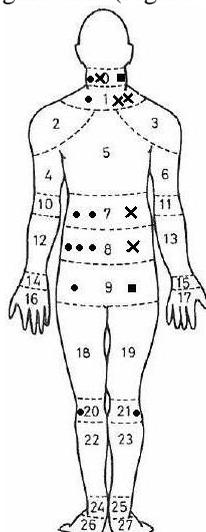


Figura 7 - Parti del corpo nelle quali i partecipanti riferivano di sentire dolore dopo una giornata trascorsa sulla macchina (● = poco; × = abbastanza; ■ = molto).

Il questionario rilevava anche alcune informazioni in merito alla familiarità dei partecipanti allo studio con la tecnologia. Riguardo a questo aspetto 11 partecipanti hanno riferito di utilizzare il computer ogni giorno, 2 almeno una volta al mese, e 4 mai. Sei dei partecipanti dichiaravano di avere uno smartphone. In Tabella 1 sono riportate le soluzioni tecnologiche che gli operatori partecipanti allo studio hanno riferito di avere a disposizione sulle macchine agricole normalmente utilizzate. Le soluzioni innovative meno diffuse risultavano essere il sistema CANBUS, il GPS e il terminale virtuale.

Tabella 1 - Frequenze di risposta date dai partecipanti in relazione alla presenza di tecnologie sulle macchine da loro più utilizzate.

Tecnologia	Si	No	Non so cosa sia
CANBUS	1	9	8
CVT (Continuously Variable Transmission)	7	7	3
GPS (Global Positioning System)	3	15	--
Biodiesel*	4	13	--
Sistema di overpower/power-boost	8	9	1
Attuatori elettrici	10	5	3
Terminale virtuale	5	12	1
Sistema di frenatura idraulico	14	4	--
Sistema di frenatura pneumatico	13	5	--
Velocità massima >40 km/h	13	5	--

* una risposta mancata per questa tecnologia

Le caratteristiche antropometriche e la forza di prensione della mano rilevate sui partecipanti allo studio sono riportate in Tabella 2.

Tabella 2 - Valori minimo e massimo, media e deviazione standard delle caratteristiche antropometriche e di forza rilevate nei 18 partecipanti.

Caratteristiche antropometriche	Minimo	Massimo	Media	Dev. St.
Statura (cm)	158.0	183.8	175.7	6.8
Statura assisa (cm)	81.7	97.8	91.7	3.8
Massa corporea (kg)	44.1	110.5	81.9	18.6
Largh. massima fianchi assisa (cm)	32.3	44.6	38.0	3.3
Presa di forza – gomito (cm)	30.9	39.0	35.8	2.2
Presa di forza alla parete (cm)	71	86	77.3	3.9
Altezza poplitea (cm)	38	48	45.6	2.2
Forza della mano sinistra (N)	216	617	433	126
Forza della mano destra (N)	224	608	449	119

I partecipanti erano buoni rappresentanti della variabilità della popolazione agricola italiana. Confrontando i valori sopra riportati in Tabella 2, con i valori dei percentili calcolati per la popolazione italiana di soggetti maschili (ISO 7250-2, 2011; Masali, 2013) si osserva infatti come siano presenti soggetti rappresentativi di percentili ancora più agli estremi della variabilità espressa dal range dal 5° e dal 95° percentile della popolazione italiana di riferimento. Inoltre i valori di media calcolata per statura, statura assisa e massa corporea (peso) nel campione dei soggetti in studio superano le medie della popolazione maschile adulta italiana (ISO 7250-2, 2011; Masali, 2013), evidenziando come si tratti di soggetti in condizioni di generale robustezza, ma anche di sovrappeso/eccesso ponderale. Questa ultima condizione risulta inoltre essere molto frequente in ambiente rurale (WHO, 2000, 2004).

In merito all'eventuale precedente esperienza con gli specifici trattori utilizzati nello studio, 12 partecipanti hanno riferito di avere già utilizzato una macchina della stessa marca e modello del Trattore 1 e 5 partecipanti di aver utilizzato un trattore della stessa marca ma di modello diverso. Al contrario, il Trattore 2 era già stato usato da 5 parteci-

panti, mentre 3 avevano già utilizzato una macchina della stessa marca ma di modello diverso e 8 non avevano esperienza né con la marca né con il modello specifico. Per quanto riguarda il Trattore 1, tutti i partecipanti sono stati pertanto considerati “esperti”, mentre nel caso del Trattore 2 è stato possibile creare due sottogruppi, gli “esperti (che avevano già avuto modo di usare quello specifico modello di trattore o un altro della stessa marca) e i “novizi” (che non erano mai entrati in contatto né con la marca né con lo specifico modello usato nello studio). L’analisi dati è stata, quindi, effettuata considerando tali categorie di esperienza d’uso dei partecipanti. Sono stati quindi confrontati il Trattore 1 e il Trattore 2 sulla base dei giudizi di comfort espressi dagli esperti nell’utilizzo delle due macchine e, per quanto riguarda il solo Trattore 2, i giudizi espressi dagli esperti sono stati confrontati con quelli dei novizi per meglio evidenziare le criticità riscontrate da chi non aveva precedente esperienza con la macchina.

Giudizi di comfort – Familiarizzazione con la macchina

Accesso e individuazione dei comandi

In Figura 8a e 8b vengono riportati i risultati relativi ai giudizi di facilità di accesso/uscita e individuazione dei comandi nel primo contatto con il veicolo.

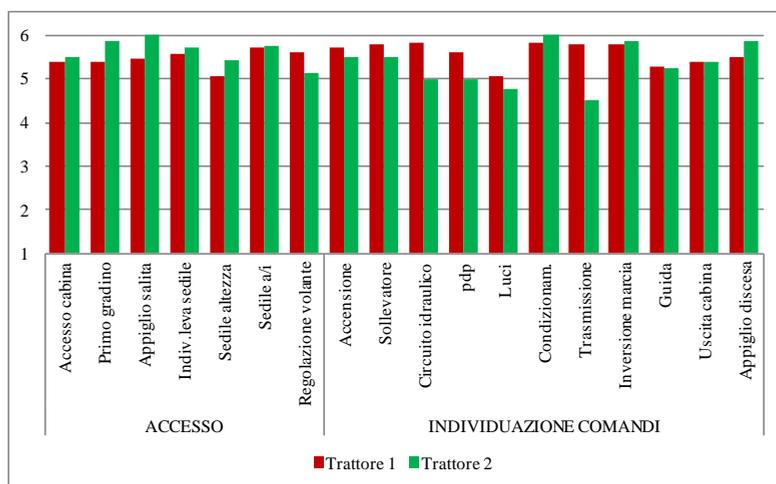


Figura 8a - Trattore 1 vs. Trattore 2. Media dei giudizi espressi dai partecipanti esperti durante il primo contatto con la macchina.

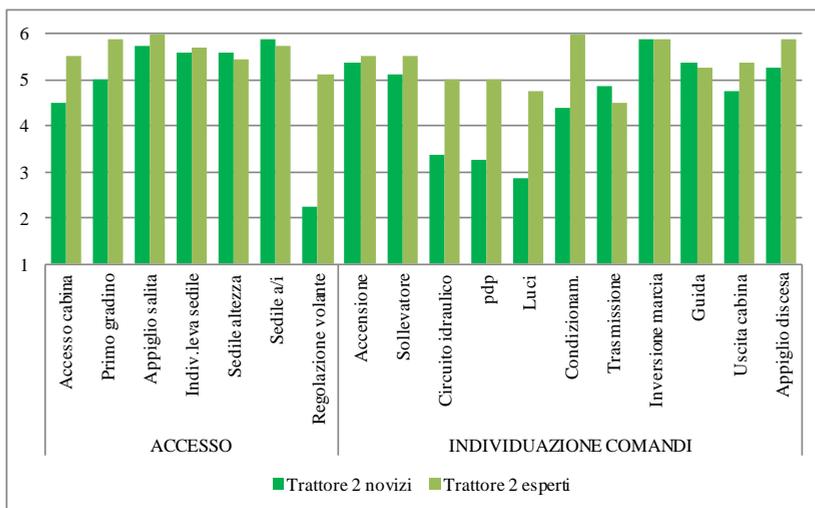


Figura 8b - Trattore 2: novizi vs esperti. Media dei giudizi espressi dai partecipanti durante il primo contatto con la macchina.

I profili di risposta sono molto simili sia per il Trattore 1 che per il Trattore 2 (Figura 8a), evidenziando un minor comfort rispetto alla posizione dei comandi del circuito idraulico, della presa di potenza (pdp) e della trasmissione per il Trattore 2. Sempre per il Trattore 2, i novizi hanno riportato difficoltà maggiori nell'accesso alla cabina e in particolare al primo gradino, nella regolazione del volante e nell'individuazione del comando di inserimento/disinserimento della pdp e dell'accensione/spengimento delle luci (Figura 8b). Il risultato relativo alla difficoltà di accesso al posto di guida è congruente con le dimensioni delle aperture rilevate sulle 2 diverse macchine; la distanza da terra del primo gradino della scala di accesso era maggiore nel Trattore 2 rispetto al Trattore 1.

Giudizi di comfort - Dopo l'esecuzione della prova

Aspetti ambientali della cabina

Le Figure 9a e 9b illustrano quanto emerso dalle valutazioni attribuite dai partecipanti su alcuni aspetti ambientali della cabina di guida.

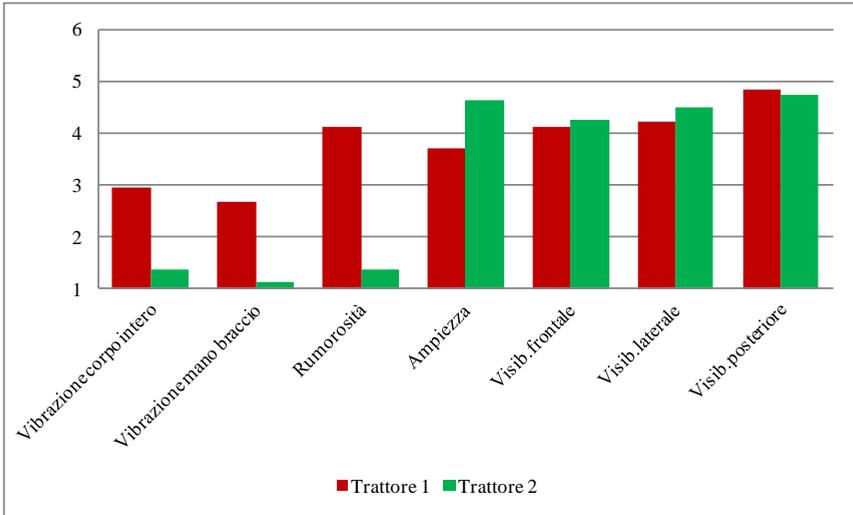


Figura 9a - Trattore 1 vs. Trattore 2. Media dei giudizi espressi dai partecipanti esperti in relazione al comfort di alcuni parametri fisico-ambientali della cabina, dopo aver eseguito i diversi compiti

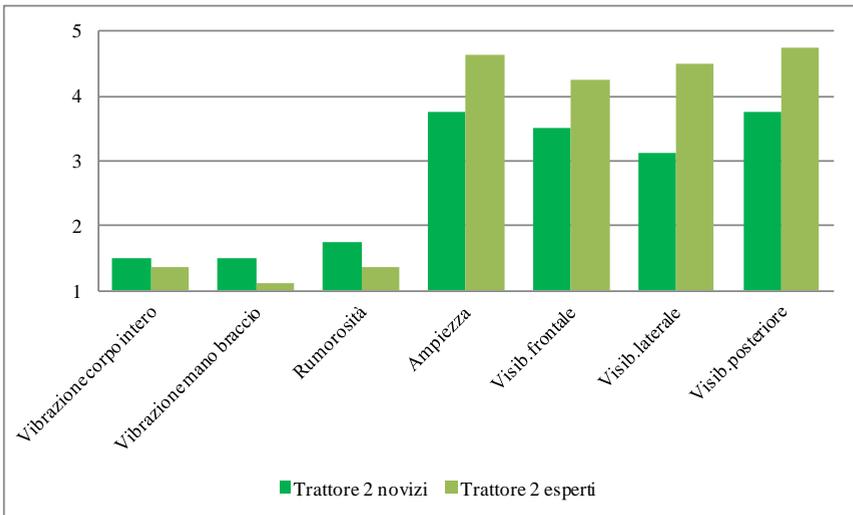


Figura 9b - Trattore 2: novizi vs esperti. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione al comfort di alcuni parametri fisico-ambientali della cabina, dopo aver eseguito i diversi compiti

Come si può notare, il Trattore 1 fa rilevare maggiori elementi di discomfort in merito al livello di vibrazione trasmessa al corpo intero e al sistema mano-braccio, e nel livello di rumorosità della cabina.

Quest'ultimo dato trova riscontro nelle misure oggettive di rumore misurato all'orecchio del conducente.

Per quanto riguarda l'ampiezza della cabina, gli operatori riportavano minor comfort per il Trattore 1, in accordo con le minori dimensioni interne e di superficie vetrata che caratterizzavano la cabina installata su questo veicolo.

La maggior visibilità riportata per il Trattore 2 trova riscontro nelle maggiori dimensioni della superficie vetrata misurata sulla cabina di questa macchina.

Per quanto riguarda il Trattore 2, la visibilità (laterale e posteriore) è risultata più scarsa per quei partecipanti che non avevano esperienza precedente della macchina. Questo dato è da attribuire alla presenza sulla macchina di due montanti (uno per lato) in corrispondenza della posizione del sedile.

Facilità nell'azionare i dispositivi di comando e controllo

Alcune interessanti differenze sono emerse in relazione alla facilità (riferendoci con questo termine alla mancanza di sforzo fisico) nell'azionare i dispositivi di comando e controllo. La Figura 10a riporta il confronto tra i 2 diversi trattori, mentre la Figura 10b si riferisce ai diversi giudizi espressi dai novizi ed esperti nell'uso del Trattore 2.

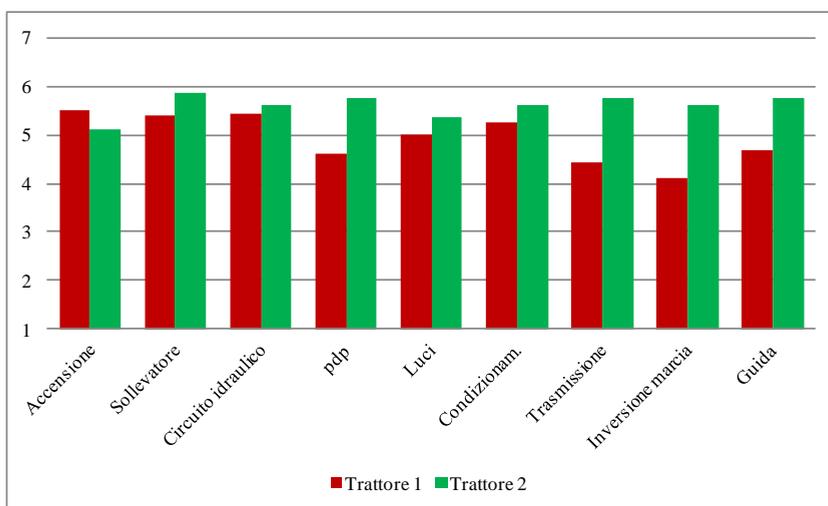


Figura 10a - Trattore 1 vs. Trattore 2. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione alla facilità percepita nell'azionare i dispositivi di comando e controllo, dopo aver eseguito i diversi compiti.

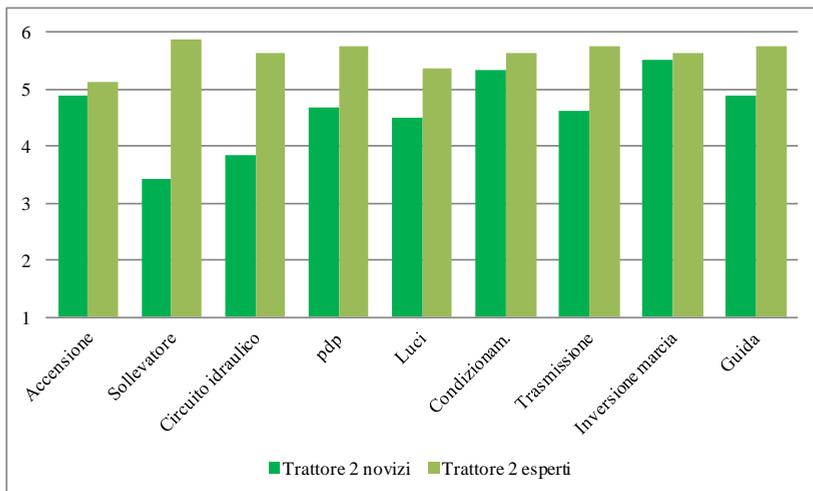


Figura 10b - Trattore 2: novizi vs. esperti. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione alla facilità percepita nell'azionare i dispositivi di comando e controllo, dopo aver eseguito i diversi compiti.

Confrontando i giudizi espressi dagli esperti sulle due macchine, i dispositivi di azionamento del sollevatore, di inserimento/disinserimento della presa di potenza e di inversione della marcia del Trattore 1 risultavano richiedere uno sforzo maggiore per essere azionati rispetto ai corrispondenti comandi installati sul Trattore 2.

Il confronto tra novizi ed esperti nell'utilizzo del Trattore 2 evidenzia come l'interazione con i comandi di azionamento del sollevatore e del circuito idraulico risultasse meno confortevole per i novizi (probabilmente a causa della posizione di tali comandi, che richiedeva particolare movimento sia del polso che dell'avambraccio).

L'interazione cognitiva e fisica con il sedile, il volante, i pedali, le leve e i pulsanti, le spie e i display sono stati indagati in maniera più approfondita.

Sedile, volante e pedali

Le Figure 11a e 11b illustrano le medie dei giudizi riferiti dai partecipanti riguardo ad alcuni aspetti dell'interazione con sedile, volante e pedali sulle due macchine. In particolare, gli esperti risultavano percepire maggiore discomfort, una insufficiente regolazione del sedile e una maggiore fatica nell'azionare lo sterzo e i pedali del Trattore 1 rispetto al Trattore 2 (Figura 11a).

Per quanto riguarda il Trattore 2, nel confronto tra novizi ed esperti (Figura 11b), i novizi riportavano un maggior sforzo nel manovrare il volante e nell'azionare i pedali, rispetto agli esperti. Tale risultato meriterebbe di essere indagato in maniera più approfondita, per individuare le ragioni di tali giudizi che appaiono parzialmente discrepanti rispetto agli alti livelli di comfort di guida riportati in merito ad altri aspetti del Trattore 2.

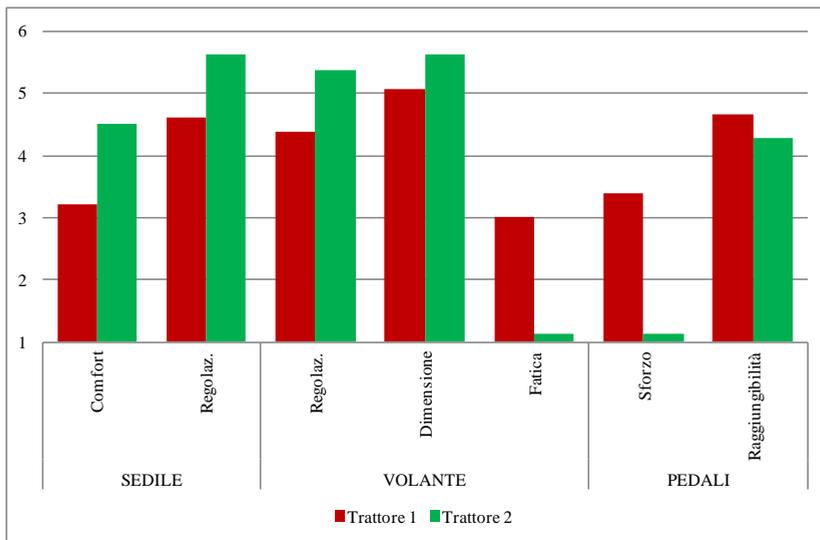


Figura 11a - Trattore 1 vs. Trattore 2. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione a diversi aspetti dell'interazione con sedile, volante e pedali, dopo aver eseguito i diversi compiti.

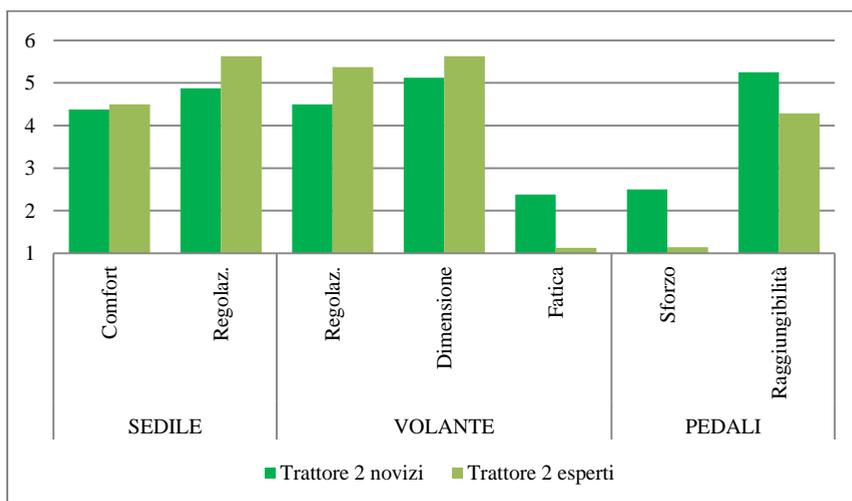


Figura 11b - Trattore 2: novizi vs. esperti. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione a diversi aspetti dell'interazione con sedile, volante e pedali, dopo aver eseguito i diversi compiti.

Leve e pulsanti

I dati rivelano che gli esperti hanno riportato per il Trattore 1 alcune criticità legate alla forma e dimensione di leve e pulsanti e alla loro ridotta raggiungibilità (Figura 12a).

Per quanto riguarda il Trattore 2, leve e pulsanti risultavano avere caratteristiche e dimensioni ritenute più adeguate, mentre risultava più difficile comprendere a cosa si riferissero e come azionarle (Figura 12b).

Il confronto tra novizi ed esperti fa emergere come per i primi risultassero poco confortevoli la posizione delle leve (erano in luogo inatteso) e la forma e la dimensione dei pulsanti.

Inoltre, i colori utilizzati per le leve e i pulsanti non risultavano di aiuto nel comprendere le diverse funzioni.

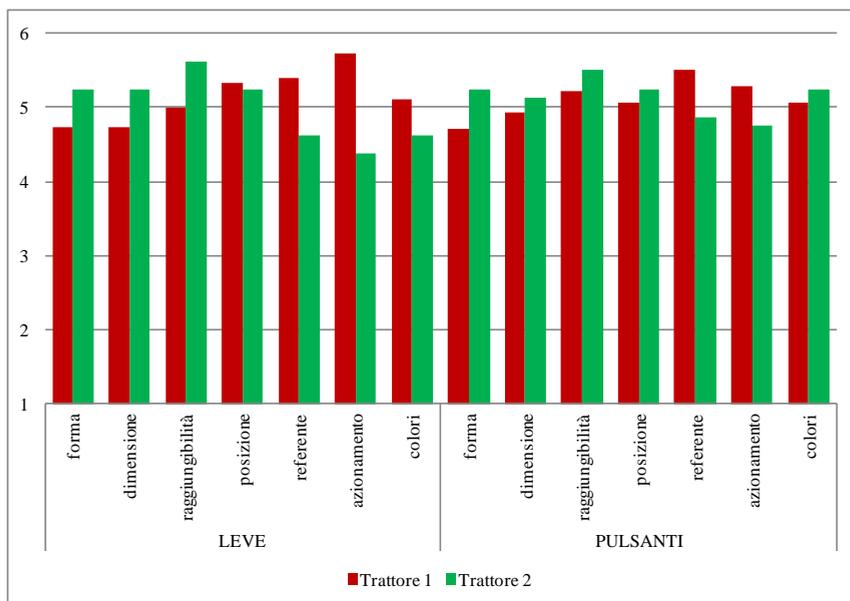


Figura 12a - Trattore 1 vs. Trattore 2. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione a diversi aspetti dell'interazione con leve e pulsanti, dopo aver eseguito i diversi compiti.

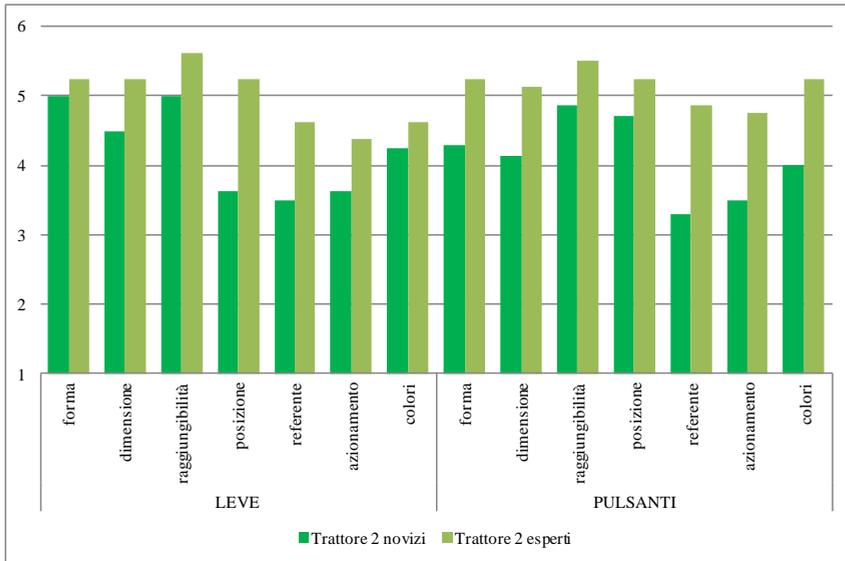


Figura 12b - Trattore 2: novizi vs. esperti. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione a diversi aspetti dell'interazione con leve e pulsanti, dopo aver eseguito i diversi compiti.

Spie e display

Anche per l'interazione con spie e display, alcuni interessanti aspetti sono emersi dal confronto tra le due macchine e tra novizi e esperti in relazione al Trattore 2. Su questa macchina, in base a quanto riportato dagli esperti, risultava più facile discriminare le informazioni importanti fornite sul display da quelle meno importanti (Figura 13a). Tuttavia, coloro che non avevano esperienze sul Trattore 2 ritenevano le informazioni trasmesse meno ben organizzate e trovavano meno chiaro discriminare tra quelle importanti e quelle meno importanti (Figura 13b).



Figura 13a - Trattore 1 vs. Trattore 2. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione a diversi aspetti dell'interazione con spie e display dopo aver eseguito i diversi compiti

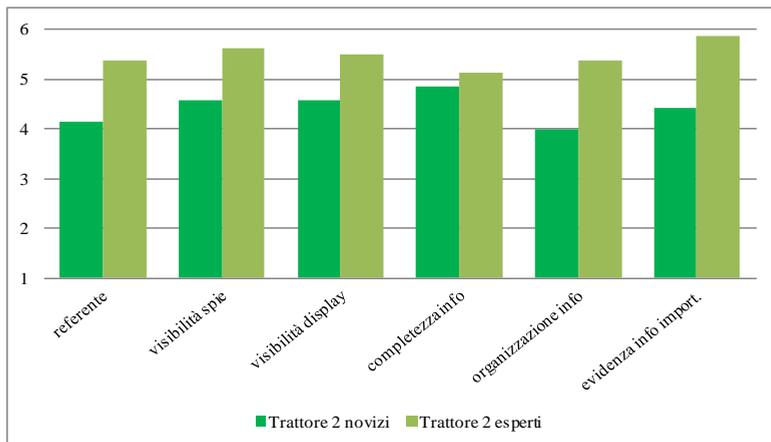


Figura 13b - Trattore 2: novizi vs. esperti. Media dei giudizi espressi dai partecipanti in relazione a diversi aspetti dell'interazione con spia e display, dopo aver eseguito i diversi compiti

Impressioni globali

Per quanto riguarda l'impressione generale trasmessa dai due diversi trattori a gli utenti, la Figura 14a mostra come, tra gli esperti, il Trattore 1 abbia evidenziato una maggiore facilità di apprendimento dell'utilizzo. Al contrario il Trattore 2 ha ricevuto giudizi più favorevoli per quanto riguardava il comfort generale e la sensazione di sicurezza e di qualità trasmesse dalla macchina. Tali giudizi risultavano però meno positivi per i novizi, per i quali risultava più difficile comprendere il significato e l'uso dei comandi (Figura 14b).

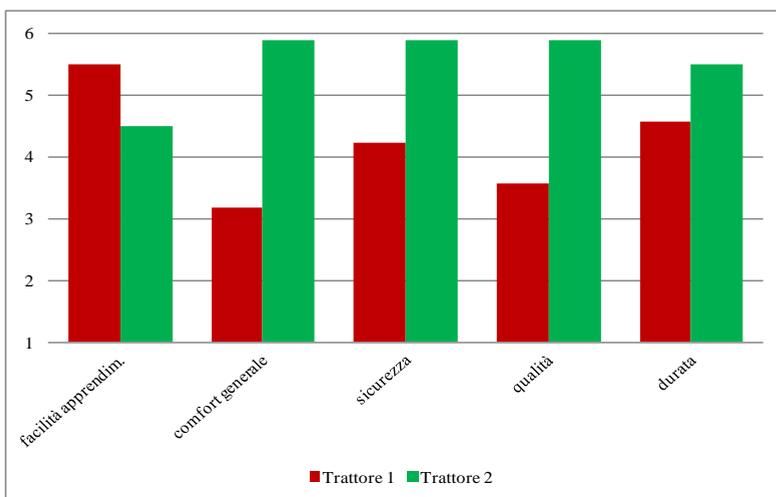


Figura 14a - Trattore 1 vs. Trattore 2. Media dei giudizi globali espressi dai partecipanti sulle due macchine dopo aver eseguito i diversi compiti

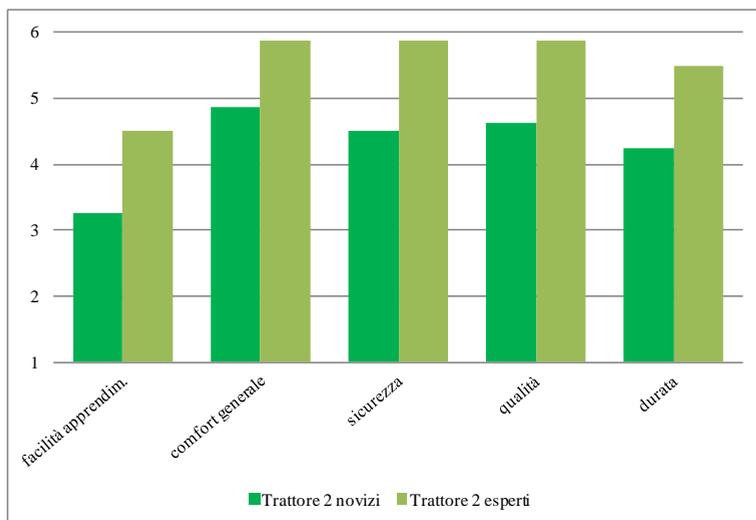


Figura 14b - Trattore 2: novizi vs. esperti. Media dei giudizi globali espressi dai partecipanti sulla macchina dopo aver eseguito i diversi compiti

Relazione con i parametri antropometrici e funzionali

Per quanto riguarda la relazione tra i parametri antropometrici rilevati sugli utenti e alcuni aspetti della interazione utente-trattore riportati come critici nel questionario, si sono rilevate interessanti segnalazioni di mancato comfort e difficoltà d'uso da parte degli operatori con caratteristiche dimensionali agli estremi della variabilità del campione umano in studio (cioè al di sopra o al di sotto del valore medio calcolato nel campione per quella misura).

Ne sono esempio i casi di dichiarata difficoltà di accesso al primo gradino riportati per entrambi i modelli di trattore da parte di soggetti con statura e lunghezza della gamba inferiore alla media calcolata. Anche il comfort globale nell'accesso alla cabina dei due trattori risultava inferiore per chi aveva misure riferibili alla gamba e al braccio inferiori alla media, e, per il Trattore 2, anche per i partecipanti con statura totale e lunghezza dell'avambraccio inferiori. Al contrario, livelli di vibrazione più elevati, sia a corpo intero che al distretto mano braccio, venivano riferiti per entrambi i trattori da parte di chi aveva maggior statura e, per il Trattore 2, anche da chi aveva valori inferiori di peso e di indice di massa corporea (IMC). Solo per la vibrazione sul distretto mano braccio sono risultati critici anche valori più alti di statura assisa. La valutazione della forza di prensione della mano ha evidenziato come nel caso del Trattore 1 dichiarassero maggiori difficoltà, in particolare per l'inserimento della pdp e l'attuazione dell'inversione, proprio i soggetti con valori più bassi di forza nella mano destra. Il comfort generale di guida risultava inferiore in entrambe le macchine per soggetti di statura e altezza poplitea inferiori alla media e con minori lunghezze di presa (alla parete). Per il Trattore 1 risultavano critici anche la minore forza in entrambe le mani e una lunghezza della gamba e una presa di forza (gomito) al di sotto della media; una statura assisa più bassa era invece fattore critico per il Trattore 2. Il comfort della seduta risultava inferiore per i soggetti superiori alla media per peso e larghezza fianchi, ma anche per lunghezza gamba. Per il Trattore 1 si registrava un minor comfort percepito da parte di chi aveva

il tronco più lungo (statura assisa maggiore) e per il Trattore 2 maggior altezza poplitea. Minor comfort veniva dichiarato in merito alla manovrabilità per il Trattore 1 da parte di chi aveva presa (alla parete) minore della media e per il Trattore 2 da parte di chi aveva meno forza nelle mani. Per quanto riguarda la raggiungibilità dei pedali, si sono riscontrate criticità solo nel Trattore 2, in utenti aventi altezza poplitea e lunghezza gamba inferiori alla media del campione. Per entrambe i trattori risultava critica la raggiungibilità delle leve da parte di chi aveva valori di distanza di presa (alla parete) inferiori alla media del campione. A riguardo della raggiungibilità dei pulsanti, solo il Trattore 2 presentava criticità da parte di chi aveva valori inferiori alla media di distanza presa riferibili a tutto il braccio e all'avambraccio, ma anche di statura totale. Nel complesso si è evidenziato quindi come vi siano diversi parametri antropometrici che condizionano il livello di comfort e di facilità d'uso percepito. Alcune criticità sembrerebbero particolarmente frequenti in soggetti che presentano caratteristiche dimensionali degli arti più brevi rispetto ad altri, con difficoltà espresse in termini di raggiungibilità, così come la statura maggiore e talvolta un peso ad essa non proporzionale, paiono rendere più sensibili al disagio da vibrazione o generare condizioni di minor comfort di seduta. Analogamente a più bassi livelli di capacità di forza si registrano difficoltà ad azionare alcuni comandi. Queste considerazioni fanno pensare alla potenzialità di comprensione di alcuni aspetti di discomfort/sgradevolezza o difficoltà d'uso proprio alla luce di specifiche caratteristiche dimensionali e/o funzionali degli operatori. Questi, proprio a causa della loro ampia variabilità, potrebbero richiedere maggiori livelli di regolazione o attenzione progettuale sulla facilità d'uso, mirati ad utenti con caratteristiche prossime agli estremi della variabilità stessa.

Aspetti positivi e negativi da segnalare

A conclusione del questionario erano previste alcune domande aperte nelle quali veniva chiesto ai partecipanti di indicare gli aspetti positivi e negativi riscontrati durante l'utilizzo dei 2 diversi trattori. L'analisi testuale dei commenti ha permesso di individuare alcune tematiche ricorrenti riferite a pregi e criticità rilevate nell'interazione con la macchina, al comfort ambientale percepito e alle valutazioni globali di ognuno dei trattori. Per quanto riguarda gli aspetti positivi del Trattore 1, quasi la metà dei commenti rimandavano alla semplicità di utilizzo e al fatto che gli elementi e i dispositivi della macchina risultassero intuitivi e facili da utilizzare: *“La macchina era dotata di pochi comandi facili da azionare”* oppure *“La macchina era facile da usare”*; seguivano commenti riferiti al fatto che leve, spie e pulsanti fossero esattamente dove ci si aspettava che fossero e funzionassero come atteso, in conformità quindi con il modello mentale (Norman, 1988) in possesso dell'operatore: *“I comandi erano intuitivi”*. In relazione alle criticità, la maggior parte dei commenti rimandavano alla necessità di compiere sforzo e fatica per attivare e manovrare alcuni dispositivi come: *“L'inserimento della pdp richiedeva sforzo”* e *“Il pedale della frizione era troppo alto”*; altri si riferivano alla presenza di alcuni *stressors* ambientali quali in particolare rumore e vibrazioni: *“La rumorosità della macchina era elevata”* e *“Il volante vibrava molto”*; infine vi erano commenti relativi alla mancanza di comfort in generale: *“Il comfort della macchina era superato”* oppure *“La macchina era molto scomoda”*. Per quanto riguarda il Trattore 2, gli aspetti positivi più citati rimandavano all'ambiente confortevole come *“La cabina era molto ampia”* e *“Dentro si sta comodi”*, seguiti dall'assenza di sforzo nel manovrare la macchina e dalla percezione della sua qualità ed

efficienza: *“Lo sterzo era molto leggero da manovrare”* e *“La risposta della trasmissione era ottima”*. Gli aspetti negativi, evidenziati soprattutto dai novizi ma riportati anche dagli esperti, rimandavano invece alla difficoltà di comprendere la logica sottostante alla progettazione dei dispositivi di comando e controllo come ad esempio: *“Non si capisce dove si trova il freno”* e *“Non riesco a capire i comandi”* mentre altri commenti erano riferiti alle difficoltà di accesso e discesa dalla cabina, *“Il seggiolino del passeggero ostacolava l’accesso al sedile”*, *“La scaletta d’accesso era stretta”* o *“La porta ostacolava la salita e la discesa dalla cabina”* (evidenziati questi in egual misura da novizi ed esperti).

Discussioni e conclusioni

Il comfort percepito durante l’utilizzo delle macchine si configura come elemento importante nel promuovere la sicurezza, il benessere e la performance degli operatori. La salienza di questo elemento è riconosciuta anche dalle case costruttrici, che sempre più puntano su questo elemento per orientare i comportamenti d’acquisto della clientela (Dhingra et al., 2003). La natura strettamente soggettiva e multidimensionale del comfort (De Looze et al. 2003) rende indispensabile coinvolgere direttamente l’utente, adottando un approccio ergonomico multidisciplinare per investigare i diversi aspetti che contribuiscono alla determinazione del costruito (Goodman-Deane et al., 2008). L’indagine condotta ha permesso di evidenziare alcune criticità e possibili fonti di discomfort nella interazione degli utenti con due tipi di trattori agricole, con diverso design di cabina e livello di automazione. Il Trattore 1, caratterizzato da comandi a controllo meccanico e da scarsa presenza di dispositivi elettronici a bordo, è risultato associato a bassi livelli di comfort percepito – tra gli stessi esperti – in relazione agli aspetti fisico-ambientali della cabina (es. alto livello di vibrazione) e a difficoltà nell’interazione fisica con i dispositivi di comando e controllo: leve che richiedono sforzo per essere azionate e comandi che per essere raggiunti impongono posture poco confortevoli sono stati evidenziati in particolare quali elementi critici. Tutti questi aspetti risultano migliorati nel Trattore 2, che appariva invece legato ad elevati livelli di comfort generale e di guida ma che evidenziava invece grandi criticità nella componente cognitiva dell’interazione. I giudizi espressi sui dispositivi di comando e controllo hanno infatti evidenziato come questi fossero posizionati in luoghi inattesi, con colori che non erano di particolare aiuto nel comprenderne la funzione. Dai novizi in particolare è emersa una notevole difficoltà nel comprendere immediatamente il funzionamento dei comandi e a cosa essi si riferissero. Sono inoltre emerse interessanti relazioni tra le caratteristiche dimensionali e funzionali degli utenti e il comfort riferito nell’interazione fisica con entrambe le macchine: problematiche di raggiungibilità, di eccessivo sforzo e scarsa agilità di movimento sono state evidenziate da parte di quei partecipanti con statura, peso o lunghezza di braccio ed avambraccio particolarmente estreme rispetto alle medie del campione. Sebbene di carattere esplorativo e condotto su un piccolo campione di utenti, lo studio permette di avanzare alcune considerazioni riguardo l’evoluzione del comfort per l’operatore che interessa le macchine agricole. L’uso sempre più diffuso di tecnologie e dispositivi elettronici si scontra in alcuni casi, con modelli mentali e abitudini d’uso consolidate in anni di interazione con macchine a prevalente controllo manuale e meccanico. La tecnologia rappresenta certamente una notevole fonte di progresso delle condizioni operative, migliorando l’efficacia di dispositivi di segnale, di comando e di controllo e alleggerendo il carico di lavoro fisico

(Balogh et al., 2006; de Jong et al., 2003; Mastrangelo et al., 2013). L'innovazione tecnologica per essere realmente efficace e garantire una interazione soddisfacente, deve essere progettata con una chiara definizione e conoscenza degli utenti e dei loro bisogni, in termini di attività da svolgere, esperienza nell'utilizzo e frequenza di utilizzo e conoscenza di sistemi simili. Risulta fondamentale quindi indagarne, ad esempio, l'accettazione e l'eventuale difficoltà di utilizzo presso specifiche categorie di utenti. Per quanto riguarda le macchine per l'agricoltura deve essere tenuta in considerazione l'evoluzione della popolazione agricola in Italia, ad es. operatori stranieri e anziani, che maggiormente possono soffrire del cosiddetto *digital divide*, o divario tecnologico (Czaja e Lee, 2007). Questo richiede da un lato un coinvolgimento della specifica popolazione di utenti nelle diverse fasi di sviluppo e valutazione del progetto e dall'altro una incentivazione delle attività di formazione degli operatori, per non esporli ad una interazione con la tecnologia che possa rivelarsi fallimentare e causa di errori, quindi essere responsabile di rischi per la salute e la sicurezza (Horsky et al., 2005). Anche le evidenze emerse in relazione agli aspetti fisico-funzionali degli utenti offrono interessanti spunti di riflessione e necessità di approfondimento su campioni più ampi e che coinvolgano utenti rappresentativi dell'accresciuta variabilità della popolazione agricola: anziani, donne e stranieri, ognuno dei quali ha proprie specifiche caratteristiche fisico-funzionali.

Bibliografia

- Balogh I., Ohlsson K., Hansson G. Å., Engström T., Skerfving S. 2006. Increasing the degree of automation in a production system: consequences for the physical workload. *Intl. J. of Industrial Ergonomics*, 36(4), 353-365.
- Corlett E. N., Bishop R. P. 1976. A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics*, 19(2), 175-182.
- Czaja S. J., Lee C. C. 2007. The impact of aging on access to technology. *Universal Access in the Information Society*, 5(4), 341-349.
- Day B., Field L., Jarvis A. 2009. Agriculture engineering. *Biosystems Engineering*, 103(1), 36-47.
- de Jong A.M., Vink P., de Kroon J. C. A. 2003. Reasons for adopting technological innovations reducing physical workload in bricklaying. *Ergonomics*, 46(11), 1091-1108.
- De Looze M. P., Kuijt-Evers L. F. M., Van Dieën J. 2003. Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures. *Ergonomics*, 46(10), 985-997.
- Dhingra H., Tewari V., Singh S. 2003. Discomfort, Pressure Distribution and Safety in Operator's Seat-A Critical Review. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Invited Overview Paper. Vol. V. July.
- Ferrari E., Cavallo E. 2013. Operators' perception of comfort in two tractor cabs. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 19(1), 3-18.
- Gibson J.J. 1979. *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Goodman-Deane J., Langdon P. M., Clarke S., Clarkson P. J. 2008. Categorising design methods: How designers view the roles of user methods in design. In: *Contemporary Ergonomics 2008: Proc. of the Intl. Conference on Contemporary Ergonomics*, 273-278. Abingdon, U.K.: Taylor and Francis.

- Gunther P., Nathan D., Francois F. 2012. Patterns of correlation between vehicle occupant seat pressure and anthropometry. *WORK*, 41(S1), pp. 2226-2231.
- Hamilton A., Balnave R., Adams R. 1994. Grip strength testing reliability. *Journal of Hand Therapy*, 7, 163-170.
- Horsky J., Zhang J., Patel V. L. 2005. To err is not entirely human: complex technology and user cognition. *J. of Biomedical Informatics*, 38(4), 264-266.
- INAIL 2012. I disturbi muscolo scheletrici lavorativi. La causa, l'insorgenza, la prevenzione, la tutela assicurativa. Roma: Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro.
- ISO 7250-1 2010. Basic human body measurements for technological design- Part 1: Body measurement definitions and landmarks. Geneva.
- ISO 7250-2 2011. Basic human body measurements for technological design. Part 2: Statistical summaries of body measurements from individual ISO populations. ISO Committee identification: ISO/TC 159/SC 3/WG 1. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO/FIDS 15535 2006. General requirements for establishing anthropometric databases. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jokela T., Iivari N., Matero J., Karukka M. 2003. The Standard of User-Centered Design and the Standard Definition of Usability: Analyzing ISO 13407 vs. ISO 9241-11. In: *Proc. of CLIHC, Rio de Janeiro, Brazil*, 53-60.
- Krause F., Bronkhorst. R. E. 2003. *Comfortable Earth-Moving Machinery: Knowledge and Experiences from the Eurocabin Project*. Hoofddorp, The Netherlands: TNO Work and Employment.
- Kuijt-Evers L. F. M., Krause F., Vink P. 2003. Aspects to improve cabin comfort of wheel loaders and excavators according to operators. *Applied Ergonomics*, 34(3), 265-272.
- Marras W. S., Karwowski W. 2006. *The Occupational Ergonomics Handbook: Interventions, Controls, and Applications in Occupational Ergonomics*. 2nd ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Masali M. (a cura di) 2013. *L'Italia si Misura. Vent'anni di ricerca (1990-2010). Vademecum antropometrico per il Design e l'Ergonomia. Vol II., Collana A misura d'Uomo-Antropometria ed Ergonomia*. Aracne Editrice.
- Mastrangelo S., Cutini M., Forte G., Spirito, L., Di Nocera F., Bisaglia C. 2013. Introducing a HCD approach in the development of a health and safety publication for tractor operators. *Human Factors and Ergonomics Society, Europe Chapter - Annual Meeting*.
- Mathiowetz V., Weber K., Volland G., Kashman N. 1984. Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations. *J. of Hand Surgery*, 9(2), 222-226.
- Mehta C. R., Gite L. P., Pharde S. C., Majumder J., Pandey M. M. 2008. Review of anthropometric considerations for tractor seat design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(5), 546-554.
- Mehta C. R., Tewari V. K. 2000. Seating discomfort for tractor operators—a critical review. *Intl. J. of Industrial Ergonomics*, 25(6), 661-674.
- Nielsen J. 1994. Heuristic evaluation. In: J., Nielsen & R. L. Mack, (Eds.), *Usability Inspection Methods*. New York, NY: John Wiley and Sons.

- Nielsen J. 1995. Scenarios in discount usability engineering. In: J.M. Carroll (Ed.), *Scenario-based Design: Envisioning Work and Technology in System Development*. New York, NY: John Wiley and Sons.
- Nielsen J. 2000. Why you only need to test with 5 users. Alertbox. Retrieved October 16, 2014, from www.useit.com/alertbox/2000319.html.
- Norman D. A. 1988. *The psychology of everyday things*. Basic books.
- Richards L.G., Olson B., Palmiter-Thomas P. 1996. How forearm position affects grip strength. *American Journal of Occupational Therapy*, 50, 133-138.
- Sauer J., Seibel K., Rüttinger B. 2010. The influence of user expertise and prototype fidelity in usability tests. *Applied Ergonomics*, 41(1), 130-140.
- Su C.Y., Lin J.H., Chien T.H., Cheng K.F., Sung Y.T. 1994. Grip strength in different positions of elbow and shoulder. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75(7), 812-815.
- Teraoka T. 1979. Studies on the peculiarity of grip strength in relation to body position and ageing. *The Kobe Journal of Medical Sciences*, 25, 1-17.
- Vink P. 2005. *Comfort and Design: Principles and Good Practice*. Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Vink P., Hallbeck S. 2012. Editorial: Comfort and discomfort studies demonstrate the need for a new model. *Applied Ergonomics*, 43(2), 271-276.
- Wang X., Trasbot J. 2011. Effects of target location, stature and hand grip type on in-vehicle reach discomfort. *Ergonomics*, vol.54, Issue 5: 466-476.
- WHO 2000. *Obesity: preventing and managing the global epidemic*. WHO Technical Report Series 894. Geneva, Switzerland: WHO Press.
- WHO 2004. *Global Health Risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Geneva, Switzerland: WHO Press.
- Zimmermann C. L., Cook T. M., Rosecrance J. C. 1997. Work-related musculoskeletal symptoms and injuries among operating engineers: a review and guidelines for improvement. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 12(7), 480-484.

Capitolo 10

Guida di macchine agricole e incidenti: il ruolo del controllo attento

Francesco Di Nocera⁽¹⁾, Simon Mastrangelo⁽²⁾, Emiliano Longo⁽¹⁾

⁽¹⁾*Sapienza Università di Roma*

⁽²⁾*Ergoproject Srl, Roma*

Introduzione

Il presente contributo trae spunto dagli studi attivati nel Work Package (WP) 6 del progetto INTRAC con l'obiettivo di indagare, per la prima volta, la relazione tra "propensione all'errore" e incidenti durante la guida di macchine agricole. La relazione tra differenze individuali e infortuni (in contesti lavorativi e ambienti domestici) è stato un argomento di interesse a partire dall'inizio del diciannovesimo secolo (vedi Lawton e Parker, 1998 per una rassegna). Tuttavia, lo studio sistematico dei fattori cognitivi che potrebbero determinare tale relazione è molto più recente. Anche relativamente recente è il tentativo di sviluppare una misura del costrutto di "propensione (o predisposizione) all'errore"⁷. Il Cognitive Failures Questionnaire (CFQ) di Broadbent e collaboratori (1982) è lo strumento più riconosciuto nel campo. Si tratta di un questionario di 25 item finalizzati a ottenere informazioni sulla frequenza di piccoli errori quotidiani, come dimenticare i nomi o non prestare attenzione ai segnali stradali. Per compilare il questionario, i soggetti sono tenuti a valutare la frequenza degli errori che si sono verificati nei 6 mesi precedenti utilizzando una scala di tipo Likert a 5 punti (da "molto spesso" a "mai"). Il CFQ è comunemente utilizzato nella ricerca ergonomica (per esempio, Jones e Martin, 2003; Van der Linden et al., 2005; Wadsworth et al, 2003; Wickens et al., 2008) e in particolare nel settore "automotive". Le occasioni di commettere errori durante la guida sono molteplici e le loro conseguenze possono spesso essere drammatiche. Allhyari et al. (2008) hanno dimostrato che il punteggio ottenuto al CFQ non costituisce un indice predittivo degli incidenti, ma alcuni studi hanno riportato il risultato opposto (Larson e Merritt, 1991; Larson et al., 1997; Wallace et al., 2003). Nonostante quest'interesse, nessun contributo è stato finora fornito sulla relazione tra "propensione all'errore" e incidenti durante la guida di macchine agricole. Il presente contributo rappresenta una prima indagine orientata ad affrontare l'argomento attraverso uno studio retrospettivo condotto su un cospicuo campione di operatori.

⁷ *Tecnicamente parlando, una misura del genere non può esistere, solo la frequenza di errori può essere misurata.*

Parte tecnica

Materiale e metodo

Partecipanti

Centosettanta operatori di macchine agricole (età media = 29,10 anni; dev. st. = 7,69) hanno partecipato allo studio. Tutti gli operatori erano di sesso maschile, con esperienza nella guida di mezzi agricoli da 1 a 31 anni (media = 9,77; dev. st. = 7) e così distribuiti per condizione lavorativa: dipendenti (41,76%), stagionali (13,53%), contoterzisti (17,06%), altro (27,65%).

Questionari

Tutti i partecipanti hanno compilato una scheda informativa con la quale sono stati raccolti i dati anagrafici e quelli relativi al coinvolgimento in incidenti (numero di incidenti su strada e su campo nell'ultimo anno e in totale), il Cognitive Failures Questionnaire per stimare la frequenza di errori e dunque il livello di controllo attentivo esercitato nelle attività quotidiane, la forma ridotta del Morningness-Eveningness Questionnaire (rMEQ: Natale, 1999) per stimare la tipologia circadiana e controllare in tal modo l'influenza di questa variabile sulla frequenza di incidenti⁸. I questionari sono stati somministrati durante la fiera AgriUmbria grazie alla collaborazione dell'Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola (ENAMA) e del CRA-ING.

Analisi dei dati e risultati

I partecipanti sono stati suddivisi in tre tipologie incidentali (Accident Frequency) in funzione della recenza e dello storico. In particolare, gli operatori coinvolti in incidenti sia in passato sia nell'ultimo anno sono stati classificati ad alta frequenza (o probabilità) di incidenti (High), quelli coinvolti in incidenti recentemente ma non in passato, oppure in passato ma non recentemente sono stati classificati a bassa frequenza (Low), mentre quelli che hanno riportato di non essere mai stati coinvolti in incidenti sono stati classificati come frequenza nulla (Null).

Il punteggio ottenuto al CFQ e la tipologia incidentistica sono stati impiegati rispettivamente come variabile dipendente e fattore in un disegno di Analisi della Varianza. La tipologia circadiana (punteggio al questionario rMEQ) e il livello di esperienza nella guida di mezzi agricoli sono stati impiegati come covariate.

I risultati hanno mostrato un effetto significativo della covariata esperienza e della tipologia incidentale sui punteggi ottenuti al CFQ. L'effetto della tipologia incidentale non risente della rimozione della covariata [$F(2,165)=18,83$; $p<0,001$]. Nessun effetto della tipologia circadiana è stato rilevato.

⁸ Mecacci et al. (2004), per esempio, hanno riportato una relazione tra tipologia circadiana ed errori cognitivi.

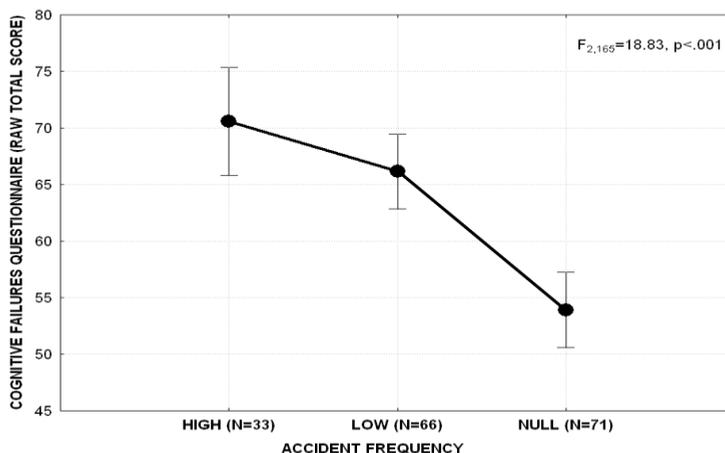


Figura 1- Tipologia incidentale e punteggio ottenuto al CFQ al netto del livello di esperienza degli operatori.

Discussione e conclusioni

L'attenzione viene spesso invocata come elemento critico nel determinare gli errori di guida (per esempio, Strayer e Johnston, 2001) e il punteggio ottenuto al CFQ - che indica di un deficit nel controllo attentivo - è stato riportato essere un buon predittore della frequenza di errori (e, di conseguenza, degli esiti indesiderati) in diversi contesti. Il presente lavoro fornisce un contributo, finora assente in letteratura, sulla relazione tra scarso controllo attentivo (o "absent mindedness") e incidenti durante guida di macchine agricole. Si tratta di uno studio retrospettivo con tutti i limiti che questa tipologia di indagine comporta, non ultimi gli effetti di memoria che potrebbero inficiare l'esatta stima degli incidenti riportati dai partecipanti. Ciononostante, i risultati ottenuti sono piuttosto interessanti. La relazione positiva tra esperienza e punteggio ottenuto al CFQ (effetto significativo della covariata esperienza) è facilmente interpretabile come effetto dell'abitudine alla guida: il consolidamento di routine comportamentali implica un minor ricorso al controllo attentivo, rendendo gli operatori esperti maggiormente vulnerabili. Questo effetto, tuttavia, non inficia il risultato principale ottenuto in questo studio: l'esistenza di una relazione tra incidenti e un ridotto controllo attentivo. In altre parole, al netto dell'esperienza (che pure ha un ruolo nel ridurre il controllo attentivo), gli operatori con maggiore probabilità di essere coinvolti in incidenti sono quelli con punteggi più elevati nel CFQ. Ciò supporterebbe l'esistenza di differenze individuali che rendono più o meno probabile il coinvolgimento in incidenti. Queste differenze, peraltro, non risultano dipendere dalla tipologia circadiana, vale a dire dalla maggiore o minore prontezza funzionale in momenti diversi della giornata.

La portata applicativa di questi risultati non è irrilevante. L'esito di questo studio, difatti, suggerisce come particolare attenzione debba essere rivolta alle differenze individuali nella produzione di errori, anche individuando soluzioni progettuali capaci di scoraggiare il ricorso a routine comportamentali (basate sulle abitudini e le abilità dell'operatore) che potrebbero colludere con situazioni a elevata incidentalità.

Bibliografia

- Allahyari T., Saraji G.N., Adl J., Hosseini M., Irvani M., Younesian M., Kass S.J. 2008. Cognitive failures, driving errors, and driving accidents. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14, 149–158.
- Broadbent D.E., Cooper P.F., FitzGerald P., Parkes K.R. 1982. The Cognitive Failure Questionnaire (CFQ) and its correlates. *British Journal of Clinical Psychology*, 21, 1-16.
- Jones G.V., Martin M. 2003. Individual differences in failing to save everyday computing work. *Applied Cognitive Psychology*, 17, 861-868.
- Larson G.E., Alderton D.L., Neideffer M., Underhill E. 1997. Further evidence on dimensionality and correlates of the Cognitive Failures Questionnaire. *British Journal of Psychology*, 88, 29–38.
- Larson, G.E., Merritt, C.R. (1991). Can accidents be predicted? An empirical test of the Cognitive Failures Questionnaire. *Applied Psychology: An International Review*, 40, 37–45.
- Lawton R.L., Parker D. 1998. Individual differences in accident liability: A review and integrative approach. *Human Factors*, 40, 655-671.
- Natale V. 1999. Validazione di una scala ridotta di mattutinità. *Bollettino di psicologia applicata*, 229, 19-26.
- Mecacci L., Righi S., Rocchetti G. 2004. Cognitive failures and circadian typology. *Personality and Individual Differences*, 37, 107–113.
- Strayer D.L., Johnston W. 2001. Driven to Distraction: Dual-Task Studies of Simulated Driving and Conversing on a Cellular Telephone. *Psychological Science*, 12, 462-466.
- Van der Linden D., Keijsers G.P.J., Eling P., van Schaijk R. 2005. Work stress and attentional difficulties: An initial study on burnout and cognitive failures. *Work & Stress*, 19 (1), 23-36.
- Wallace J.C., Vodanovich S.J., Restino B.M. 2003. Predicting cognitive failures from boredom proneness and daytime sleepiness scores: An investigation within military and undergraduate samples. *Personality & Individual Differences*, 34, 635–644.
- Wickens C.M., Toplak M.E., Wiesenthal D.L. 2008. Cognitive failures as predictors of driving errors, lapses, and violations. *Accident Analysis and Prevention*, 40, 1223–1233.

Capitolo 11

Adozione di un processo Human-Centred Design (HCD) per l'ideazione e la realizzazione di un manuale su salute e sicurezza dedicato ai conducenti di trattori agricoli

Giada Forte⁽¹⁾, Marco Maietta⁽¹⁾, Maurizio Mazzenga⁽¹⁾, Simon Mastrangelo^(1,2)

⁽¹⁾Ergoproject Srl, Roma

⁽²⁾PAN-PAN Editore Srl, Milano

Sommario

All'interno del progetto di ricerca "INTRAC – Integrazione tra gli aspetti ergonomici e di sicurezza nei trattori agricoli", finanziato dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, è stato adottato un processo Human-Centred Design (HCD) per l'ideazione e la realizzazione di un manuale sulle tematiche di salute e sicurezza su uso e manutenzione dei trattori (WP 7 e 8). La pubblicazione ha l'obiettivo di aumentare l'efficacia delle informazioni veicolate agli utenti sulla prevenzione di infortuni e incidenti. Attraverso l'approccio HCD, è stata applicata una strategia di Ergonomia Partecipativa (EP) per coinvolgere gli utenti nel delineare le tematiche, le scelte grafiche e il layout di stampa più adatti per il contesto agricolo. In particolare, grazie a dei focus group, sono state individuate le esigenze degli utenti e, tramite un'attività di noun prioritization, sono state definite le priorità e il labelling dei contenuti della pubblicazione. I risultati di queste attività hanno dimostrato l'esistenza di un divario tra le esigenze degli operatori e le tematiche affrontate nelle precedenti pubblicazioni di settore.

Questa parte del progetto INTRAC, oltre ad aver prodotto la pubblicazione "Trattore sicuro", incoraggia l'adozione di processi HCD nello sviluppo di prodotti editoriali innovativi che vogliono contribuire allo sviluppo di una effettiva cultura della sicurezza.

Introduzione

Nel primo semestre del 2013 si sono registrati 170 incidenti con macchine agricole, nei quali hanno perso la vita 85 persone e 99 sono rimaste ferite⁹. Parte di questi incidenti è riconducibile ad una mancata o carente formazione dei trattoristi sui rischi connessi al proprio lavoro (e.g. procedure di arresto sicuro). Carenze che non viene mitigata dall'esperienza visto che gli incidenti mortali colpiscono maggiormente gli utenti "senior": il 40% degli incidenti riguarda operatori over 50. Ne consegue un crescente intervento delle istituzioni attraverso iniziative di informazione e formazione dei lavoratori sia in termini di nuovi obblighi normativi¹⁰ sia di iniziative di sensibilizzazione e divulgazione.

⁹ Report primo semestre 2013 su incidenti ai trattori agricoli, Osservatorio Morti Verdi il Centauro Asaps (Associazione Sostenitori Amici della Polizia Stradale).

¹⁰ Accordo Stato-Regioni del 22 febbraio 2012 e s.m.i. che recepisce la direttiva 59/2003 sull'abilitazione all'uso delle attrezzature professionali.

L'attività che si presenta rientra in quest'ultima categoria essendosi occupata d'ideare e realizzare un manuale ("Trattore sicuro") su salute e sicurezza, durante l'uso e manutenzione di un trattore, tramite un approccio Human-Centred Design (HCD)¹¹. Al fine di impostare un processo editoriale HCD, dunque "orientato all'utente"¹², si è prevista la partecipazione attiva e diretta degli operatori ad ogni fase di definizione dei contenuti e della loro trasposizione grafica, al fine di aumentarne l'utilità percepita, la semplicità e la chiarezza di fruizione.

Si è prima studiato il contesto di riferimento, tramite un *benchmarking*, andando a individuare le tematiche (e loro presentazione/organizzazione) trattate nei manuali già pubblicati. Quanto riscontrato nelle pubblicazioni è stato poi utilizzato come base per un workshop durante il quale gli operatori hanno discusso e definito le proprie esigenze conoscitive successivamente verificate con un numero più ampio di utenti attraverso una serie di *focus group*.

Definito il contesto e comprese le reali esigenze conoscitive degli operatori, si è proceduto all'ideazione della struttura della nuova pubblicazione (e.g. numero di capitoli, selezione delle tematiche) che è stata verificata attraverso una *noun prioritization* ed ha conseguentemente dato avvio alla fase di *design iterativo* laddove i prototipi sono stati verificati, ad intervalli, attraverso osservazioni esperte e workshop con gli utenti.

Parte tecnica

Benchmarking

La prima fase di un processo HCD è la comprensione e definizione del contesto di riferimento, che in ambito editoriale può essere svolta partendo da un'analisi di un campione di pubblicazioni equivalenti a quella che si sta ideando (S. Mastrangelo, U. Verna, L. Spirito, 2010). Questo permette di catalogarne le caratteristiche (e.g. aspetti carto-tecnici, organizzazione dei contenuti e loro stile di redazione) e d'individuare le best/worst practice in termini di chiarezza, immediatezza di comunicazione, univocità e completezza¹³.

Analisi

Sono state analizzate diciannove pubblicazioni di enti pubblici aventi come tematica principale la sicurezza delle macchine e delle attrezzature agricole:

- Adeguamento dei trattori agricoli o forestali – INAIL, 2011.
- Agricoltura sicura – Azienda ULSS 20 – Verona, 2010.
- Circolazione e sicurezza delle macchine agricole – Egaf, 2003.

¹¹ "An ergonomics approach to design shall be human-centred. This means that all designable components of a system, product or service are fitted to the characteristics of the intended users, operators or workers, rather than selecting and/or adapting humans to fit the system, product or service." - Definizione tratta dalla UNI EN ISO 26800:2011 "Ergonomia - Approccio generale, principi e concetti".

¹² Per una definizione di processo HCD vedere UNI EN ISO 9241-210:2010 "Ergonomia dell'interazione uomo-sistema - Parte 210: Processi di progettazione orientata all'utente per sistemi interattivi".

¹³ Categorizzazione tratta dalla UNI 10893:2000 "Istruzioni per l'uso — Articolazione e ordine espositivo del contenuto".

- Coltiviamo la cultura della sicurezza - La trattrice – Veneto Agricoltura e INAIL, 2011.
- Come adeguare i trattori e le motoagricole usate – Regione Lombardia e INAIL, 2011.
- Compendio delle principali misure di sicurezza da applicare alle trattrici agricole - INAIL e Regione Lombardia, 2004.
- Ergonomics Checkpoints in Agriculture – International Labour Office in collaborazione con la International Ergonomics Association, 2012.
- Flyer trattrice - INAIL E ULSS Verona, 2009.
- Guida per l'adeguamento dei trattori agricoli e forestali – Camera di Commercio Viterbo, 2008.
- I requisiti di sicurezza delle macchine irroratrici - ENAMA, 2002.
- L'installazione dei sistemi di ritenzione del conducente nei trattori agricoli o forestali - Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del lavoro, 2009.
- L'installazione dei dispositivi di protezione in caso di ribaltamento nei trattori agricoli o forestali – ISPESL, 2008.
- La sicurezza delle macchine agricole – ENAMA, 2002.
- La sicurezza delle macchine agricole e degli impianti agro-industriali – Associazione italiana di Ingegneria Agraria e ISPESL, 2002.
- Manuale della circolazione delle macchine agricole - Regione Veneto e Polizia locale, 2009.
- Macchine semoventi “Trattrici agricole a ruota” Sicurezza, CNR Torino, 2011.
- Manuale delle procedure di sicurezza - Servizio sanitario regionale Emilia Romagna, 2011.
- Manuale per un lavoro sicuro in agricoltura - Regione Veneto, 2006.
- Sintesi delle norme di circolazione stradale riguardanti le macchine agricole – ENAMA, 2011.

Risultati

Le pubblicazioni analizzate offrono generalmente (i.e. undici su diciannove) una vasta visuale teorica sull'argomento “sicurezza delle macchine e delle attrezzature agricole”, ma pochi spunti informativi/formativi pratici (e.g. indicare come salire e scendere in maniera sicura da un trattore che è la prima causa di infortuni).

Tabella 1- Tematiche rilevate nelle pubblicazioni e loro frequenza

Tematica	Numero di pubblicazioni in cui è stata rinvenuta
Ambienti di lavoro (impostazione teorica)	17
Segnaletica di sicurezza	15
Sicurezza delle macchine agricole (impostazione teorica)	14
Statistiche su frequenza di incidenti	11
Checklist di controllo	6
Guida della macchina agricola su strada	5
Operazioni di manutenzione	3
Primo approccio alla macchina agricola	3
Pronto soccorso	2

Sedici su diciannove di queste pubblicazioni presentano una struttura articolata in pochi capitoli suddivisi in numerosi paragrafi e sottoparagrafi. Lo stile è prettamente compilativo: vengono riportate ampie citazioni tratte dalle normative vigenti e descrizioni “tecniche” sui rischi nei quali un operatore può incorrere nell’uso di un trattore. Le immagini che accompagnano i testi sono perlopiù disegni tecnici ripresi dalle normative o disegnati secondo lo stesso modello di queste. Solo tre pubblicazioni si discostano da questa impostazione “teorico-normativa”. Le prime due sono dei flyer realizzati dalla ULSS di Verona (in collaborazione con l’INAIL) che presentano in maniera pratica e sintetica, seppur rimanendo generici nella trattazione, i principali pericoli collegati all’uso dei trattori e le soluzioni da adottare all’evenienza. I testi sono accompagnati da immagini esemplificative non “tecniche”. La terza, individuata come best practice, è la pubblicazione *Ergonomics Checkpoints in Agriculture* pubblicata dall’International Labour Organization in collaborazione con la International Ergonomics Association. Seppur mantenendo brevi cenni normativi, veicola informazioni pratiche su attività lavorative quotidiane in cento schede informative/formative con griglie di sintesi e ricapitolazione. Uno dei maggiori punti di forza della pubblicazione è l’uso costante di illustrazioni esemplificative che accompagnano i testi in ogni scheda mentre il punto debole è rappresentato da un’indicizzazione articolata. Attraverso i risultati di quest’attività sono state definite le priorità formative/informative del contesto “istituzionale” che sono state confrontate con le esigenze degli utenti raccolte durante le interviste in profondità e workshop presentati nel paragrafo seguente.

Interviste in profondità e “workshop 1”

Le prime attività che hanno previsto il coinvolgimento degli utenti sono state delle interviste individuali e un workshop di approfondimento per definire le tematiche da inserire nella nuova pubblicazione e per indagare le loro esperienze di utilizzo di manuali su salute e sicurezza.

In questa fase, e in quella successiva dei focus group, è stato deciso di approfondire il tema del ricorso a manuali di uso e manutenzione, anche se non costituiva il punto focale del progetto di ricerca, per avere un quadro completo delle abitudini degli utenti rispetto alla manualistica di settore.

Confrontando tale ipotesi con quanto desunto dall’attività precedente di benchmarking, si è potuta definire una prima struttura (i.e. divisione in capitoli, selezione degli argo-

menti) della nuova pubblicazione che è stata verificata e discussa nelle ulteriori fasi di confronto con un campione più ampio di utenti (i.e. focus group, noun prioritization). Nella prima fase di confronto diretto con gli utenti, si è ricorso a interviste semistrutturate con un campione ristretto di operatori esperti ai quali sono stati posti quesiti sulle loro abitudini di utilizzo di manuali di sicurezza e di manuali di uso e manutenzione, sulle proprie esigenze conoscitive, sulle informazioni che ritengono che un operatore del settore debba conoscere e sulle loro aspettative riguardo ad una nuova pubblicazione su salute e sicurezza del comparto.

Dalle evidenze rilevate da queste prime interviste, si è impostato un workshop con un gruppo più ampio (composto da utenti esperti e meno esperti) per approfondire e validare la definizione delle tematiche più/meno interessanti.

Risultati delle interviste

I tre utenti intervistati individualmente hanno sottolineato l'esigenza di pubblicazioni sulla sicurezza che indichino praticamente e concretamente cosa "fare", "non fare" e "sapere" per evitare/prevenire incidenti, guasti e infortuni. Hanno evidenziato che l'esigenza formativa dei lavoratori del settore è forte poiché sia le pubblicazioni esistenti sia i corsi previsti per il patentino di guida di trattori sono, sotto questo aspetto, del tutto inadeguati e incompleti.

I tre operatori intervistati hanno espresso bisogni informativi/formativi in contrasto con le tematiche ricorrenti rilevate in fase di benchmarking.

Dalle interviste è emerso che anche i manuali d'uso e manutenzione risultano poco utilizzati sia perché in cabina lo spazio dedicato per riporli non è sempre previsto e/o disponibile, sia perché i testi sono particolarmente lunghi e poco chiari, quando, invece, chi li consulta vorrebbe trovare soluzioni veloci a problemi estemporanei. Anche quando si utilizza per la prima volta un trattore, piuttosto che doversi "confrontare" con il manuale d'uso e manutenzione, si ricorre a colleghi più esperti.

La ritrosia degli operatori a consultare i manuali di uso e manutenzione non va sottovalutata visto che tali pubblicazioni possono essere considerate "dispositivi di protezione individuale" che possono ingenerare, se scarsamente utilizzate, una diminuzione congenita della sicurezza durante l'uso e manutenzione del trattore.

Risultati workshop 1

A seguito delle informazioni e dei risultati ottenuti dall'analisi della manualistica e dalle interviste agli utenti esperti appena presentati, è stato organizzato un workshop con un campione più ampio di operatori (5 esperti e 3 meno esperti, età media=41 anni, SD=6,37) con l'obiettivo di confermare quanto emerso dalle interviste in profondità.

Di seguito, si riporta la graduatoria delle tematiche che gli utenti hanno indicato come più utili¹⁴: presentate separatamente in base al livello di esperienza degli operatori coinvolti.

¹⁴ Ottenute dalla media degli argomenti ritenuti più utili dai 5 utenti esperti e dalla media di quelli ritenuti più utili dai 3 meno esperti.

Tabella 2 - Tematiche ritenute più utili dagli utenti, divise per livello di esperienza

Utenti esperti	Utenti meno esperti
1 Checklist di controllo	Primo approccio alla macchina agricola
2 Guida su strada	Ambienti di lavoro (impostazione pratica)
3 Operazioni di manutenzione	Checklist di controllo
4 Pronto soccorso	Guida su strada
5 Sicurezza delle macchine agricole (impostazione pratica)	Operazioni di manutenzione
6 -	Pronto soccorso

Il confronto (Figura 1) tra le tematiche citate dagli operatori e quelle trattate nelle pubblicazioni, mette in evidenza la distanza tra quello che vorrebbero leggere gli utenti (in verde) e quello che trovano nei manuali (in rosso).

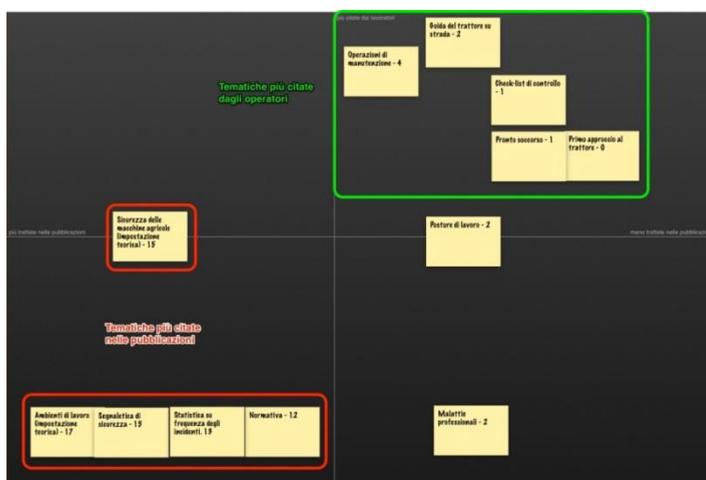


Figura 1 - Sull'asse delle ascisse sono rappresentate le tematiche più/meno trattate nelle pubblicazioni (rilevate durante il benchmarking), mentre sull'asse delle ordinate sono rappresentate le tematiche più/meno citate dagli operatori (rilevate durante "workshop 1").

Focus group

Lo scopo del focus group¹⁵ era approfondire con gli utenti le loro modalità di interazione con la manualistica (di uso e manutenzione e di sicurezza) e le motivazioni che li portano, o meno, ad utilizzarla.

¹⁵ Il "focus group" è una tecnica per la rilevazione di opinioni, atteggiamenti e giudizi, basata sulla discussione all'interno di un piccolo gruppo di persone, invitate da un moderatore ad esprimersi su precise tematiche, seguendo punti di discussione prestabiliti (Caplan, S., 1990).



Figura 2 - Partecipanti ad uno dei tre focus group.

Sulla base della disponibilità¹⁶ dei lavoratori contattati dal CRA-ING, è stato possibile reclutare 22 agricoltori esperti (proprietari terrieri, contoterzisti, operai agricoli, lavoratori stagionali), con età compresa tra i 20 e i 60 anni (età media 36 anni, SD= 12,46), che sono stati divisi in tre focus group della durata di un'ora e mezza circa (uno con 8 partecipanti, due con 7 partecipanti).

Lo svolgimento dei focus group è stato analizzato andando ad individuare le tematiche ricorrenti e condivise (riscontrate in almeno due delle tre sessioni di focus group, con una convergenza di almeno 3 utenti per sessione) rispetto a due aree di interesse:

- manuali di uso e manutenzione;
- manuali sulla sicurezza.

Analisi

Il livello di partecipazione al focus group è stato elevato, come dimostra l'intensità (e.g. numero degli interventi, confronto continuo tra i partecipanti anche senza sollecitazioni da parte del moderatore) della discussione.

L'elemento facilitante è stato senz'altro costituito dal rapporto di fiducia costruitosi negli anni tra gli agricoltori e i ricercatori del CRA-ING, rapporto che ha favorito sia l'organizzazione del focus che l'instaurarsi di un clima partecipativo e costruttivo durante la discussione. Vi potrebbe essere un bias di selezione dovuto all'assenza di categorie di agricoltori diverse dagli utenti esperti.

L'interazione tra i partecipanti ha mostrato una chiara gerarchia generazionale: gli utenti anagraficamente più anziani o con più anni di esperienza lavorativa sono risultati essere i partecipanti che hanno espresso con più convinzione e frequenza le proprie opinioni, mentre i più giovani sono intervenuti o confermando le opinioni dei colleghi più anziani, o respingendole, ma solo parzialmente. I leader dei gruppi – individuabili

¹⁶ La composizione del campione proposta in origine era di:

- 5 lavoratori esperti (e.g. proprietari terrieri, contoterzisti);
- 5 lavoratori poco esperti (e.g. stagionali);
- 6 donne (3 esperte, 3 poco esperte);
- 5 lavoratori stranieri.

nei soggetti con più anni di esperienza – sono stati comunque elementi positivi, in quanto hanno avviato la partecipazione attiva degli altri alla discussione rispondendo prontamente agli stimoli dati dal moderatore e proponendo possibilità di cambiamento e di miglioramento. Nei paragrafi successivi si riportano i risultati di tale lavoro con alcune citazioni riprese dalle conversazioni degli utenti.

Risultati

Manuali d'uso e manutenzione

Gli utenti utilizzano i manuali d'uso e manutenzione solo per identificare il significato dei codici di errore o il peso massimo ammissibile del carico. *“Si apre solo quando non si riesce a farne a meno”*. I proprietari delle macchine consultano il manuale solo quando hanno a che fare con un modello nuovo, appena acquistato, mentre affermano di rivolgersi o al concessionario presso il quale hanno effettuato l'acquisto o a colleghi che posseggono lo stesso modello di macchina durante tutto l'arco di vita del trattore.

Gli utenti si sono lamentati del fatto che le informazioni presenti nelle pubblicazioni sono poco comprensibili, o perché scritte in maniera complessa, o perché superficiali. Un'altra criticità è rappresentata dal fatto che spesso questi testi sono traduzioni in italiano poco accurate di indicazioni scritte in altre lingue (principalmente inglese e tedesco).

“L'hanno scritta da intellettuali”.

“Le informazioni ci sono, ma non riusciamo a metterle in pratica”.

“A volte l'unica soluzione proposta è: consultare un'officina autorizzata”.

I partecipanti hanno individuato nella lunghezza dei testi il principale fattore che scoraggia la lettura, e hanno sostenuto che negli anni precedenti i concessionari hanno avanzato alle case di produzione la proposta di dividere i manuali in più fascicoli proprio per rendere la lettura più agevole.

Da quanto emerso dal confronto sul ricorso a manuali di uso e manutenzione¹⁷ emerge auspicabile l'applicazione di un approccio HCD anche per la realizzazione di queste pubblicazioni vista la scarsa consultazione da parte degli operatori dovuta a prodotti che presentano contenuti non sempre coerenti rispetto alle esigenze conoscitive dell'utente e spesso estremamente complessi da fruire (e.g. molto lunghi e articolati in una moltitudine di capitoli e paragrafi).

Manuali sulla sicurezza

Tutti i lavoratori hanno ammesso di avere letto pubblicazioni sulla sicurezza solo quando obbligati: durante un corso in azienda. Hanno riferito di averli sfogliati durante le attese negli uffici di qualche ente (es. Coldiretti) o perché erano allegate alle riviste del settore. Reputano che siano tutte molto simili tra di loro, obsolete e poco rispondenti alle loro realtà lavorative.

“Finché non mi mandano a fare il corso, io non le leggo”.

“Quando vai alla Coldiretti a fare la fila, le sfoglio perché c'è solo quello in sala d'attesa”.

¹⁷ Tema questo, come detto in precedenza, non focale del progetto di ricerca, ma comunque importante per avere una panoramica completa sui bisogni dell'utenza,

“Non diceva niente di nuovo, era una perdita di tempo”.

Non hanno espresso il bisogno di pubblicazioni più chiare, perché si sono dimostrati scettici e quasi infastiditi riguardo le finalità di queste pubblicazioni: ne hanno parlato, infatti, come di contenitori di elenchi di “obblighi”, per attenersi ai quali è necessario sostenere spese più o meno ingenti. *“Sono un costo, non un guadagno”.* I dati sinteticamente categorizzati e riportati mostrano come i partecipanti siano sensibili ai problemi di salute/sicurezza, ma abbiano delle difficoltà ad applicare praticamente misure atte a garantire il lavoro in sicurezza nella realtà lavorativa quotidiana. Nondimeno è emersa una volontà ad essere informati su queste tematiche, purché i soggetti (enti pubblici, case di produzione, legislatori) che svolgono attività informative e formative tengano conto delle loro reali necessità, lavorative e personali (es. istruzioni più chiare, informazioni essenziali e utili).

Noun prioritization

La noun prioritization costituisce un metodo efficace per rappresentare i modelli mentali impliciti degli utenti, rendendo esplicite le loro aspettative di categorizzazione dei contenuti (Fincher, S., Tenenberg J., 2005). Conoscere i modelli mentali e le categorizzazioni implicite permette di organizzare le informazioni in modo che siano più facili da trovare e da utilizzare, migliorando la qualità di un prodotto.

Questa tecnica consiste nel mostrare agli utenti dei cartoncini, sui quali sono riportati il nome o la descrizione di un contenuto. Agli utenti viene poi chiesto di suddividere i cartoncini in gruppi e di assegnare gli item a categorie pre-stabilite.

Grazie alla concretezza del compito di categorizzazione da eseguire, diminuisce la razionalizzazione dell'utente, che fornisce, classificazioni reali, e non solo quelle che dichiarerebbe di utilizzare durante, ad esempio, un'intervista.



Figura 3 – Categorizzazione degli item proposti nell'attività di noun prioritization.

I partecipanti alla noun prioritization sono stati gli stessi coinvolti nei focus group. Dei 22 soggetti presenti al focus group, 19 hanno partecipato a questa seconda prova (età media 38 anni, SD=12,39)¹⁸.

I risultati della noun prioritization hanno permesso di verificare il gap riscontrato tra le dichiarazioni degli utenti intervistati sui loro bisogni formativi/informativi e quanto riscontrato nelle pubblicazioni analizzate, e ottenere un feedback su come categorizzare i contenuti divulgativi di una futura pubblicazione sui temi di salute e sicurezza alla guida di macchine agricole.

Le etichette delle categorie e gli item sono stati scelti in base ai dati ottenuti durante il benchmarking.

Analisi

I partecipanti sono stati invitati a categorizzare le tematiche, ordinandole dalla più importante alla meno importante (ponendo dei post-it su un tabellone), in tre categorie pre-definite.

- **Informare sui rischi** da uso e manutenzione, rappresentando in maniera pragmatica i rischi reali collegati all'uso del trattore sia quelli relativi al lavoro nei campi sia quelli del trasporto su strada (tra gli argomenti ritenuti più utili dagli operatori e spesso tralasciato nelle pubblicazioni).
- **Formare su come prevenire i rischi e guasti** con buone pratiche e checklist di controllo (su manutenzione e procedure di lavoro) che possano introdurre una cultura della sicurezza attraverso "gesti" concreti e quotidiani.
- **Agire in caso di emergenza** con nozioni pratiche di primo soccorso.

Gli item da categorizzare sono stati selezionati partendo dai risultati del benchmarking (tematiche più trattate/meno trattate nelle pubblicazioni) e del "workshop 1" (tematiche considerate più interessanti/meno interessanti dai partecipanti).

- Per l'etichetta *Informare* gli item proposti sono stati:
 - guida su campi di lavoro (informazioni su rischi reali e quotidiani collegati a infortuni e/o incidenti che possono avvenire durante la guida in campo);
 - guida su strada (informazioni su rischi reali e quotidiani collegati a infortuni e/o incidenti che possono avvenire nella guida sulle strade);
 - normativa (presentazione delle normative su salute e sicurezza che interessano i lavoratori del settore);
 - rischi ambientali (informazioni sull'impatto delle operazioni di lavoro sulle condizioni ambientali biologiche e/o atmosferiche);
 - rischi uso macchina agricola (informazioni sui pericoli collegati all'uso delle macchine agricole sia in movimento, durante lavorazioni, sia durante operazioni di manutenzione);
 - statistiche (es. numero dei lavoratori del settore, numero di incidenti/infortuni).
- Per l'etichetta *Formare* gli item proposti sono stati:
 - ambiente di lavoro (nozioni di base sugli aspetti ambientali e organizzativi che incidono sulle attività lavorative);

¹⁸ Un numero di utenti superiore ai 15 è normalmente ritenuto sufficiente per condurre un'attività di categorizzazione come la noun prioritization (Nielsen J., 2004).

- checklist di controllo (un elenco “carta e matita” che i lavoratori possono utilizzare per controllare di aver rispettato tutti gli step necessari a garantire il lavoro in sicurezza);
 - manutenzione (informazioni sulle attività di manutenzione ordinaria della macchina da eseguire quotidianamente);
 - posture di lavoro (indicazioni sulle posture da assumere per prevenire i disturbi muscoloscheletrici legati all'attività lavorativa);
 - primo approccio alla macchina (indicazioni su come lavorare in sicurezza pensate per utenti alle prime esperienze lavorative nel settore);
 - segnaletica di sicurezza.
- Per l’etichetta *Agire* gli item proposti sono stati:
- guida in campo;
 - guida su strada;
 - infortuni uso macchina (informazioni sugli infortuni più probabili collegati all’uso di macchine agricole);
 - primo soccorso (nozioni basilari di primo soccorso).

Risultati

I risultati ottenuti per ognuna delle tre aree hanno confermato quanto emerso nelle precedenti fasi di analisi (interviste e “workshop 1”) dal momento che i partecipanti hanno categorizzato gli argomenti secondo un ordine d’importanza diametralmente opposto alla presenza degli stessi nelle pubblicazioni istituzionali.

Nei grafici successivi (Figura 4, Figura 5, Figura 6) si riporta, per ogni area, la media delle preferenze assegnate dagli utenti ad ogni item¹⁹ confrontata con la presenza media degli stessi item nei 19 testi analizzati durante l’attività di benchmarking. Evidente una polarizzazione inversa su quasi tutti gli item proposti: gli argomenti ritenuti più interessanti dai partecipanti sono quelli meno trattati nelle pubblicazioni analizzate.

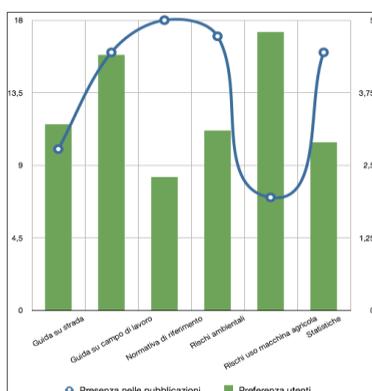


Figura 4 - Tematiche trattate nel campione di pubblicazioni analizzate (blu) e quelle più citate dagli operatori (verde) nella categoria *Informare*.

¹⁹ Corrisponde al totale dei livelli di preferenza (da 1 maggiore accordo, a 5 minore accordo) attribuiti all’item diviso il numero dei partecipanti alla prova.

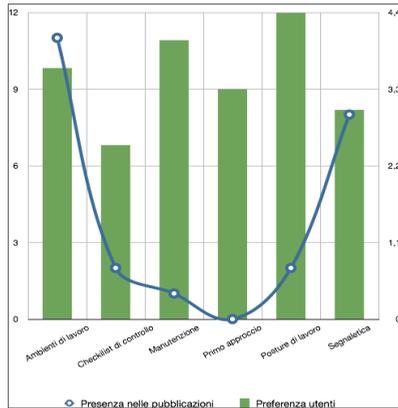


Figura 5 - Tematiche trattate nel campione di pubblicazioni analizzate (blu) e quelle più citate dagli operatori (verde) nella categoria Formare.

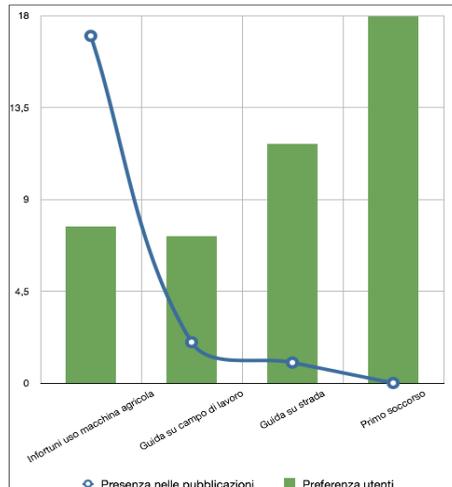


Figura 6 - Tematiche trattate nel campione di pubblicazioni analizzate (blu) e quelle più citate dagli operatori (verde) nella categoria Agire.

Alla fine dell'attività di noun prioritization, ai partecipanti è stato chiesto di commentare in gruppo gli item che hanno ritenuto più significativi o che hanno avuto maggiore difficoltà nel collocare.

L'item *Normativa*, appartenente alla categoria *Informare*, è stato posizionato dalla maggioranza assoluta dei partecipanti tra le ultime posizioni. Gli utenti sostengono che, al pari dei dati delle statistiche, nelle pubblicazioni le normative vengono di solito elencate seccamente e quindi ritenute di scarso interesse. Un item che ha suscitato perplessità è stato *Checklist di controllo* della categoria *Formare*: gli utenti hanno attribuito poca importanza all'argomento, non per mancanza di interesse, ma perché hanno ipotizzato che uno strumento del genere (un elenco carta e penna) possa venire considerato poco utilizzabile dai lavoratori. L'item *Statistiche* nella categoria *Informare* è stato

il principale oggetto della discussione finale, dal momento che la metà dei partecipanti lo ha collocato ai primi posti, mentre l'altra metà tra gli ultimi. Gli utenti hanno espresso le loro opinioni basandosi sulle loro precedenti esperienze con la manualistica del settore. I lavoratori con più esperienza hanno giustificato la loro scelta, sostenendo che utilizzare statistiche su infortuni e incidenti realmente accaduti potrebbe essere un buon metodo per sensibilizzare e convincere nella lettura di una pubblicazione; gli utenti con meno esperienza hanno, invece, sostenuto che le statistiche vengono percepite solo come elenchi di numeri e saltate a piè pari.

Si è tratta la conclusione che gli utenti avrebbero dichiarato un maggiore interesse per alcuni argomenti (come per l'item *Statistiche*), se nella loro esperienza li avessero trovati trattati in maniera più esplicita, sintetica e, soprattutto, meno astratta (e.g. per quanto riguarda *Statistiche*, avrebbero preferito trovare nelle pubblicazioni un numero inferiore di dati, ma collegati a incidenti e infortuni più frequenti, piuttosto che una mole di dati generici).

Un altro dato interessante emerso dalla discussione è che gli utenti, sollecitati ad esprimere aspettative personali sulla pubblicazione, hanno ammesso di non avvertire l'esigenza di una nuova pubblicazione, ma che si sentirebbero invogliati a leggerla se fosse veicolata principalmente da immagini e pochi testi e sono stati concordi nel ritenere completa la tripartizione nelle aree presentate (*Informare, Formare, Agire*). Hanno inoltre chiesto che nella nuova pubblicazione gli argomenti venissero trattati tenendo in considerazione le loro reali condizioni lavorative, con la richiesta esplicita di ovviare agli eccessivi tecnicismi riscontrati nelle precedenti pubblicazioni.

Design iterativo

Successivamente alle attività di focus group e noun prioritization, i ricercatori del CRA-ING e di ENAMA, sono stati coinvolti nella redazione dei contenuti della nuova pubblicazione con la richiesta di seguire le indicazioni per la redazione di un testo costruito intorno alle esigenze di utenti reali²⁰ presentate nelle linee guida della Commissione Europea²¹

Nel frattempo, il team grafico ha iniziato il lavoro di prototipazione per la definizione di alcuni elementi (posizione delle illustrazioni nella pagina, disposizione del testo in box, rubricatura laterale).

²⁰ "Punto 2: tenete sempre presente chi sono i vostri lettori: non soltanto il vostro capo o chi debba rivedere i vostri testi, ma gli utilizzatori finali", *Scrivere chiaro, Commissione Europea, 2009.*

²¹ *Scrivere chiaro, Commissione Europea, 2009.*

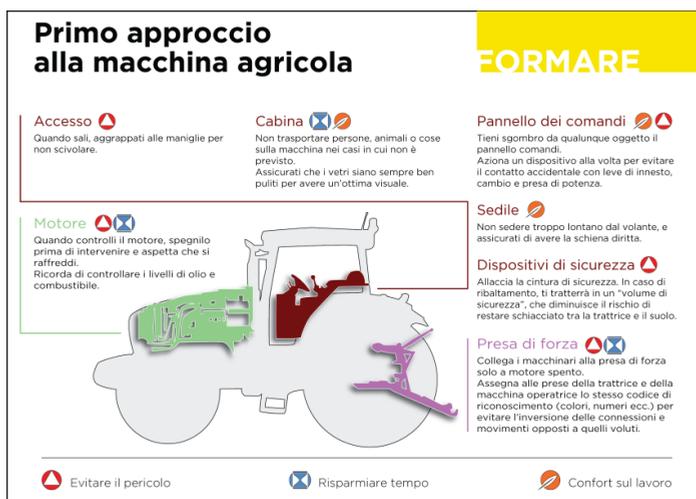


Figura 7 - Prototipo di pagina della pubblicazione sulla regolazione del posto di guida.

Da una valutazione esperta della prima bozza²² è risultato che le aree in cui la pubblicazione era stata divisa (i.e. Informare, Formare e Agire) rispecchiavano la tassonomia e il lessico istituzionali individuate durante il benchmarking come worst practice.

Per assicurare l'efficacia della veicolazione dei contenuti, sulla base di quanto emerso nelle attività con gli utenti, l'organizzazione generale del testo è stata rivista in modo da essere task-oriented. Si è deciso, in altri termini, di passare dalla suddivisione "normativa" formale a quella operativa "reale" delle modalità di utilizzo di una macchina secondo il workflow di lavoro definito con gli utenti.

La pubblicazione è stata, quindi, divisa nei capitoli:

A macchina spenta (informazione da conoscere prima di mettersi alla guida):

- Prima di mettersi a lavoro
- Dispositivi di sicurezza
- Attacco attrezzi
- Attività di manutenzione
- Turni di lavoro e stress

Lavoro sui campi:

- Pericolo di ribaltamento
- Uso di attrezzi
- Presenza di persone attorno alla macchina

Trasporto su strada:

- Comportamento da tenere in strada
- Come comportarsi con gli automobilisti
- Quantità di carico
- Segnaletica di sicurezza

²² La prima bozza è stata presentata durante una riunione di stato avanzamento lavori ad una rappresentanza di esperti di CRA-ING ed ENAMA, ai quali è stato chiesto di valutare la chiarezza dell'organizzazione dei contenuti e la coerenza delle scelte grafiche.

Allegati:

- Cosa fare in caso di incidenti
- Checklist di manutenzione

Gli esperti del CRA-ING e di ENAMA hanno rivisto i testi secondo questa nuova impostazione, ritenendo opportuno inserire anche un capitolo dedicato alla malattie professionali per continuità con le loro precedenti pubblicazioni.

Il capitolo sulle *Malattie professionali* contiene indicazioni su:

- pericolo da agenti chimici;
- pericolo da agenti fisici;
- rischio biologico.

Seguendo le indicazioni degli esperti, il team grafico ha definito ulteriori elementi grafici (box, illustrazioni).

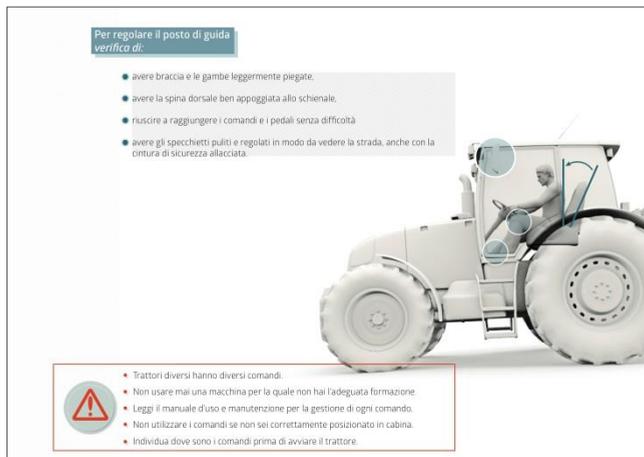


Figura 8 - Bozza intermedia di una pagina della pubblicazione sulla regolazione del posto di guida.

Per arrivare alla versione definitiva della pubblicazione sono stati realizzati altri quattro prototipi, valutati iterativamente attraverso il diretto coinvolgimento di tutti gli attori del processo (team grafico, esperti del CRA-ING e di ENAMA, esperti HCD e utenti reali).

Workshop 2

La bozza intermedia della pubblicazione è stata consegnata ad un gruppo di dimensioni ridotte di utenti privilegiati (operai della sede del CRA-ING di Monterotondo) e ad una rappresentanza del CRA-ING, con il compito di leggerla, segnalare eventuali passaggi di fruizione difficoltosa e/o poco chiara, valutare l'impostazione grafica (in particolare, la concretezza delle illustrazioni) e l'ordine di presentazione degli argomenti.

Durante il "workshop 2" con gli utenti si è proceduto ad un "walk-through talk-through" (Stanton, N.A., 2006), con la lettura ad alta voce della pubblicazione e una discussione libera con i partecipanti sugli argomenti che risultavano descritti in maniera poco chiara e diretta e/o accompagnati da immagini poco esemplificative.

Risultati

Durante la lettura ad alta voce, i partecipanti hanno riscontrato ulteriori criticità, che non avevano individuato in precedenza e non avevano segnalato nei feedback dati dopo la lettura silenziosa da soli, quali la presenza di illustrazioni decorative e/o in parziale contrasto con le procedure descritte nei testi (e.g. l'illustrazione di alcuni DPI non previsti nell'elenco testuale), periodi complessi (e.g. la presenza di doppie negazioni o di frasi lunghe con molte subordinate) e descrizioni di attività poco chiare (e.g. l'attacco del verricello e/o la procedura di inversione di marcia in pendenza).

A seguito di questo workshop, dopo ulteriori confronti tra il team grafico e gli esperti, si è giunti alla bozza definitiva.



Figura 10 - Pagina definitiva della pubblicazione sulla regolazione del posto di guida.

Conclusioni

La pubblicazione “Trattore sicuro” può essere considerata la prima pubblicazione in ambito agricolo realizzata partendo dalle esigenze dei suoi fruitori. Attraverso un approccio HCD partecipativo, gli utenti sono stati coinvolti in tutte le fasi di realizzazione del manuale: dall'ideazione del concept sino alla verifica del manufatto definitivo.

Sin dall'inizio del progetto di ricerca, si è ritenuto che l'apporto degli utenti dovesse essere fondamentale per selezionare le tematiche da inserire nella pubblicazione e, più in generale, per valutarne l'efficacia.

Il risultato è un manuale che comprende informazioni su cosa sapere prima di mettersi alla guida *A Macchina Spenta*, spiega come svolgere in sicurezza le attività quotidiane nel *Lavoro sui campi*, suggerisce come evitare incidenti con altri veicoli durante il *Trasporto su strada* e consiglia come prevenire l'insorgere di *Malattie professionali*.

Il processo di validazione e verifica, previsto dall'approccio HCD, non è concluso e potrà proseguire oltre la pubblicazione andando a migliorarla iterativamente ad ogni nuova tiratura. In tale ottica, ci si auspica di poter approfondire il lavoro di ricerca andando ad ampliare le tematiche trattate (e.g. primo soccorso) e coinvolgendo altre tipologie di utenti (e.g. donne, lavoratori stranieri).

Bibliografia

- Caplan S. 1990. Using focus group methodology for ergonomic design, *Ergonomics* 33(5).
- Direttiva Macchine 2006/42/EC .
- Fincher S., Tenenberg J. 2005. Making sense of card sorting data, *Expert Systems* 22(3): 89–93
- ISO 3864:2004. Graphical symbols - Safety colours and safety signs.
- ISO/TR 16982. Ergonomics of human-system interaction — Usability methods supporting human-centred design.
- ISO/TR 18529. Ergonomics — Ergonomics of human-system interaction — Human-centred lifecycle process descriptions.
- Mastrangelo S., Verna U., Spirito L. 2010. Applicazione della metodologia User-Centred Design (UCD) a prodotti editoriali per una "Manualistica Usabile, Atti del IX Congresso Nazionale Società Italiana di Ergonomia.
- Mastrangelo S., Cutini M., Forte G., Spirito L., Di Nocera F., Bisaglia C. 2013. Introducing a HCD approach in the development of a health and safety publication for tractor operators, HFES EC annual meeting.
- Nielsen J. 2004. Card sorting: How Many Users to Test, Jakob Nielsen's Alertbox.
- Portigal S. 2011. Diving Deep: Best Practices For Interviewing Users, SXSW.
- Stanton N. A. 2006. Hierarchical task analysis: developments, applications and extensions. *Appl. Ergon.* 37.
- UNI EN ISO 9241-11:2002. Ergonomia dell'interazione uomo-sistema - Guida sull'usabilità.
- UNI EN 614-2:2009. Sicurezza del macchinario - Principi ergonomici di progettazione - Interazioni tra la progettazione del macchinario e i compiti lavorativi.
- UNI EN ISO 26800:2011. Ergonomia - Approccio generale, principi e concetti.

Appendice

Vengono qui riportati i prodotti della ricerca realizzati nell'arco temporale del Progetto INTRAC o immediatamente disponibili, suddivisi nei diversi capitoli – e Working Package (WP) – che li hanno generati.

Tuttavia, data la complessità, ampiezza e, in alcuni casi, delicatezza del Progetto, altri prodotti originati dalle attività descritte in quest'opera, sono tuttora in corso di analisi ed elaborazione e saranno resi disponibili con pubblicazioni specifiche.

Capitolo 2

Prodotti scientifici del WP1

Pochi D., Fornaciari L., Vassalini G., Cervellini C., Brannetti G., Fanigliulo R., 2012. Levels of noise and vibrations transmitted to the driver of a medium-high power agricultural tractor, under operative conditions. Proceedings Int. Conf. of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng 2012, Valencia, Spain, July 8-12. ISBN 978-84-615-9928-8.

Fanigliulo, R.; Fornaciari, L.; Vassalini, G.; Grilli, R.; Brannetti, G.; Cervellini, C.; Pochi, D., 2012. Main safety aspects of agricultural machinery: management of control tests on noise emitted according to EN ISO/IEC 17025:2005. Proceedings Int. Conf. C.I.G.R. on “Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food System”, Ragusa, Italy, September 3-6. CD-ROM / ISBN 978-88-905473-4-8, pag. 290-296.

Pochi, D.; Vassalini, G.; Fornaciari, L.; Grilli, R.; Cervellini, C.; Brannetti, G.; Fanigliulo, R., 2013. Levels of vibration transmitted to the operator of the tractor equipped with self-levelling cab. Proceedings Int. XXXV CIOSTA & CIGR V Conference “From effective to intelligent agriculture and forestry”, Billund, Denmark, July 3rd – 5th. ISBN 978-87-92869-76-0.

Pochi D., Fanigliulo R., Del Duca L., Nataletti P., Vassalini G., Fornaciari L., Cerini L., Sanjust F., Annesi D. (2013). First investigation on the applicability of an active noise control system on a tracked tractor without cab. Proceedings 10th Conference of the Italian Society of Agricultural Engineering “Horizons in agricultural, forestry and biosystems engineering”. Viterbo, Italy, September 8-12, 2013. Guest Editors: D. Monarca, M. Cecchini. Journal of Agricultural Engineering 2013; volume XLIV(s1): e151, 752-756. ISSN 1974-7071.

Pochi D., Fanigliulo R., Fornaciari L., Vassalini G., Brannetti G., Cervellini C. (2013). Levels of vibration transmitted to the operator of the tractor equipped with front axle suspension. Proceedings 10th Conference of the Italian Society of Agricultural Engineering “Horizons in agricultural, forestry and biosystems engineering”. Viterbo, Italy, September 8-12, 2013. Guest Editors: D. Monarca, M. Cecchini. Journal of Agricultural Engineering 2013; volume XLIV(s1): e151, 752-756. ISSN 1974-7071.

Prototipi e brevetti

Prototipo – Dispositivo a controllo attivo per la riduzione del livello di rumore al posto di guida di trattori con e senza cabina.

Prototipo – Prototipo di silenziatore a controllo attivo del rumore emesso dal tubo di scarico di trattori.

Partecipazione a convegni ed ad altri eventi

CIGR-AgEng – International Conference of Agricultural Engineering, Valencia, July 8 - 12, 2012 (presentazione memoria)

International Conference C.I.G.R. on “Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food System”, Ragusa, Italy, September 3 - 6, 2012. (presentazione memoria).

International XXXV CIOSTA & CIGR V Conference “From effective to intelligent agriculture and forestry”, Billund, Denmark, July 3 – 5, 2013.

10th AIIA Conference, Viterbo, University of Tuscia, Italy, September 8-12, 2013.

Capitolo 3

Prodotti scientifici del WP2

Pochi D., Biocca M., Fanigliulo R., Pulcini P., Conte E. 2012. Potential exposure of bees, *Apis mellifera L.*, to particulate matter derived from seed dressing during maize sowing. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology: Volume 89, Issue 2 (2012), pp. 354-361. (DOI: 10.1007/s00128-012-0664-1).

Pochi D., Biocca, M., Fanigliulo R. 2012. Proposal of an inspection methodology for pneumatic drills. Fourth European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe - SPISE 4, Julius-Kühn-Archiv. ISBN 978-3-930037-93-3 ISSN 1868-9892.

Pochi D., Biocca M., Fanigliulo R., Fedrizzi M., Conte E., Pulcini P., Grilli R., Gallo P., Imperi G. 2012. Deriva di polveri durante la semina del mais conciato e mezzi di contenimento. Atti Giornate Fitopatologiche 2012.

Pochi D., Biocca M., Fanigliulo R., Gallo P., Pulcini P. 2012. Development and testing of innovative devices to reduce the drift of abrasion powder during the sowing of dressed seeds with pneumatic drills. International Conference of Agricultural Engineering, CIGR-AgEng 2012. ISBN 978-84-615-9928-8.

Pochi D., Biocca M., Fanigliulo R., Gallo P., Pulcini P. 2012. Workers' exposition to aerosol during the sowing operations with pneumatic precision drills International Conference RAGUSA SHWA 2012, September 3-6, 2012, Ragusa – Italy “Safety Health and Welfare in Agriculture and in Agro-food Systems” ISBN 978-88-905473-4-8.

Biocca M., Pochi D., Fanigliulo R., Gallo P., Pulcini P. 2013. New devices to reduce the dust emissions from seed drills, AAB Workshop “Dust emissions from seed drills”, Julius-Kühn Institut (JKI), Berlin-Dahlem, Germany, 14-15 March 2013.

Biocca M., Pochi D., Fanigliulo R., Gallo P., Pulcini P. 2013. Dust drift from conventional and modified pneumatic drills for maize during field and static tests, AAB Workshop “Dust emissions from seed drills”, Julius-Kühn Institut (JKI), Berlin-Dahlem, Germany, 14-15 March 2013

Pochi D., Biocca M., Brannetti G., Fanigliulo R., Gallo P., Grilli R., Montanari S., Pulcini P. 2013. Engineering solutions applied to pneumatic drills to reduce losses

- of dust from dressed seeds, 10th AIIA Conference, Viterbo, University of Tuscia, Italy, September 8-12, 2013.
- Biocca M., Pochi D., Fanigliuolo R., Gallo P., Pulcini P. 2013. Aerosol generated during the Sowing Operations with Pneumatic Precision Drills and Operator Inhalation Exposure XXXV CIOSTA & CIGR V Conference 2013, Billund- Denmark, 03 - 05 July 2013.
- Biocca M., Fanigliuolo R., Gallo P., Pulcini P., Perrino C., Pochi D. 2014. Assessing dust drift from dressed seeds by air sampling. *Aspects of Applied Biology* 122, International Advances in Pesticide Application, pp 103-111. ISSN 0265-1491.
- Pochi D., Fanigliuolo R., Gallo P., Biocca M. 2014. 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.
- Pochi D., Biocca M., Fanigliuolo R., Pulcini P., Conte E. 2014. Valori potenziali di esposizione delle api alle polveri derivanti da mais conciato. *Atti Giornate Fitopatologiche 2014*, Volume 1, 555-564. Chianciano Terme (SI), 18-21 marzo. ISBN 978-88-491-3874-0
- Biocca, M.; Fanigliuolo, R.; Gallo, P., Pulcini P., Pochi D. 2014. Esposizione dell'operatore alle polveri derivanti da seme di mais conciato. *Atti Giornate Fitopatologiche 2014*, Volume 1, 567-572. Chianciano Terme (SI), 18-21 marzo. ISBN 978-88-491-3874-0.
- Perrino C., Marcovecchio F., Dalla Torre S., Gallo P., Biocca M., Pochi D. 2014. 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.

Prototipi e brevetti

- Brevetto nazionale e internazionale RM2010A000465 del 2010-09-02 e PCT/IB2011/053736 2011-08-25. Titolo: Dispositivo e procedimento di riduzione della dispersione nell'ambiente di polvere da abrasione di sementi conciate da parte di seminatrici pneumatiche di precisione – Referente: Daniele Pochi, CRA-ING. La modifica per seminatrici atta ad abbattere le polveri disperse durante la semina, sviluppato nell'ambito del progetto APENET, è stato implementato e reso più efficiente nell'ambito del progetto INTRAC tramite l'applicazione di un unità di filtrazione elettrostatica.
- Brevetto nazionale RM2012A000522. Data deposito 30/10/2012 presso UIBM. Titolo brevetto: Apparecchiatura agricola per lo stoccaggio e la distribuzione di materiale incoerente. Referente: Daniele Pochi, CRA-ING Monterotondo. Brevetto ideato e sviluppato interamente nell'ambito del progetto INTRAC.

Partecipazione a convegni ed ad altri eventi

- SPISE 4 - Fourth European Workshop on Standardised Procedure for the Inspection of Sprayers in Europe - Lana, (BZ) 27 - 29 March 2012 (presentazione memoria).
- Giornate Fitopatologiche 2012, Milano Marittima (RA), 13-16 marzo 2012 (presentazione memoria).
- EIMA 2012 – Esposizione dei dispositivi brevettati presso lo stand CRA-ING, Bologna, Novembre 2012.

- International Conference RAGUSA SHWA 2012, September 3-6, 2012, Ragusa – Italy
 “Safety Health and Welfare in Agriculture and in Agro-food Systems” AgENG 2012
 (presentazione memoria).
- CIGR-AgEng 2012 – International Conference of Agricultural Engineering, Valencia,
 8-12 Luglio 2012 (presentazione memoria).
- International Workshop “Dust emissions from seed drills”, Julius-Kühn Institut (JKI),
 Berlin-Dahlem, Germany, 14-15 March 2013 (presentazione memoria).
- XXXV CIOSTA & CIGR V Conference 2013, Billund- Denmark, 03 - 05 July
 (presentazione memoria).
- 10th AIIA Conference, Viterbo, University of Tuscia, Italy, September 8-12, 2013
 (presentazione memoria).
- Association of Applied Biologists - Aspects of Applied Biology - International Ad-
 vances in Pesticide Application 2014, Oxford (UK), 09/01/2014 (presentazione
 memoria).
- Giornate Fitopatologiche 2014, Chianciano Terme (SI), 18-21 marzo.
- DUST 2014, International Conference on Atmospheric Dust, Castellaneta Marina
 (TA), (presentazione memoria).

Capitoli 4, 5 e 6

Prodotti scientifici del WP3

- Cutini M., Bisaglia C. 2013. 17th Biennial Test Engineers’ Conference. Treviglio, Italy
 on 8 October 2013, OECD Standards Codes for the Official Testing of Agriculture
 and Forestry Tractors: First approach to the development of a test concept for
 the assessment of agricultural tractor’s operator Whole Body Vibration in field con-
 dition, OECD TAD/CA/T/RD(2013)4
- Cutini M., Bisaglia C., Romano, E. 2013 17th Biennial Test Engineers’ Conference.
 Treviglio, Italy on 8 October 2013, OECD Standards Codes for the Official Testing
 of Agriculture and Forestry Tractors: The evaluation of Whole Body Vibration of a
 tractor operator during transport on road, OECD TAD/CA/T/RD(2013)4
- Cutini M., Carnevali C., Bisaglia C. 2013 OECD TWG, Hannover, Germania, on 12-13
 November 2013, OECD Standards Codes for the Official Testing of Agriculture
 and Forestry Tractors: Further analysis on vibration, OECD
 TAD/CA/T/RD(2013)3/REV1
- Cutini M., Bisaglia C., Romano E. 2013. Special ramps for the studio agricultural trac-
 tor whole body vibration. In: From effective to intelligent farming and forestry
 XXXV Ciostra-CIGR Conference 2013, 3-5 July 2013, Billund (Denmark). ISBN:
 978-87-92869-76-0, p. 1-8, paper on CD.
- Mastrangelo S., Cutini M., Forte G., Spirito L., Di Nocera F., Bisaglia C. 2013. Intro-
 ducing a HCD approach in the development of a health and safety publication for
 tractor operators. Poster al convegno: Human Factors and Ergonomics Society Eu-
 rope Chapter Annual Meeting in Torino, Italy, October 2013. ISSN on line 2333-
 4959
- Cutini M., Bisaglia C. 2014. Experimental identification of a representative soil profile
 to investigate Tractor Operator’s Discomfort and Material Fatigue Resistance.

Presentato al convegno AgEng 2014 in Zurich, 6-10 luglio 2014 – International Conference of Agricultural Engineering. ISBN 978-0-9930236-0-6
Cutini M., Bisaglia C. 2014. Whole Body Vibration Monitoring Using a Smartphone.
Presentato al convegno AgEng 2014 in Zurich, 6-10 luglio 2014 – International Conference of Agricultural Engineering. ISBN 978-0-9930236-0-6

Partecipazione a convegni ed ad altri eventi

O.E.C.D. 17th Test Engineer's Conference, presso Bologna, Milano, Treviglio, Torino, Italia, dal 8-11 ottobre 2013.

O.E.C.D. Technical Working Group, presso Hannover, Germania, dal 13-14 novembre 2013.

CRA ING-MTS System, "European off-highway vehicle seminar"; Treviglio, 11-12 giugno 2013.

Sono stati presentati gli interventi:

- Fatigue life prediction of agriculture tractor components
- Procedure and layout for the development of fatigue test on one agriculture implement by a four poster test bench
- Assessment of boundary parameters on whole body vibration transmission in laboratory conditions

XXXV Ciosta-CIGR Conference 2013, From effective to intelligent farming and forestry 3-5 July 2013, Billund (Denmark).

AgEng 2014 in Zurich, 6-10 luglio 2014 – International Conference of Agricultural Engineering.

L'evoluzione del settore della meccanizzazione agricola ha contribuito in modo determinante ai risultati produttivi consentendo di provvedere, per il breve-medio periodo, alla produzione di alimenti sufficienti ad una popolazione mondiale in costante crescita. Inoltre, la tecnologia applicata all'agricoltura ha consentito di migliorare anche la situazione ambientale di vaste aree rurali e di perfezionare le condizioni di lavoro e di sicurezza degli addetti attivando prassi di sostenibilità dei sistemi produttivi. Tuttavia, nuovi orizzonti si schiudono a chi opera nella ricerca e nella produzione inerenti la meccanizzazione. Infatti, nella progettazione di attrezzature per l'agricoltura sarà sempre più necessario tenere in considerazione non solo gli specifici obiettivi tecnici per i quali ogni macchina è concepita, ma anche tutti gli aspetti riguardanti la sicurezza, l'ergonomia, l'impatto sull'ambiente, le possibili insorgenze di malattie professionali - subdole da individuare, ma molto invalidanti poiché spesso irreversibili - e, non da ultimo, le preferenze degli utenti finali. Il rapporto con questi ultimi, spesso, si configura attraverso l'emanazione di norme oppure tramite la produzione di manuali - tipico è l'esempio del manuale d'uso e manutenzione - ma poche volte si mettono in pratica azioni di formazione frontale o di informazione reciproca produttore/utente. Tale scenario ha fatto emergere l'esigenza di approfondire le possibilità di integrazione, già a livello di progetto, degli aspetti tecnico-prestazionali con quelli ergonomici e di sicurezza. Ovviamente, la carenza di modelli e di metodi validati limita la diffusione di questo concetto e rappresenta una forte criticità per i produttori. Il superamento di questi limiti ha rappresentato la motivazione per la quale è stato proposto il presente progetto di ricerca INTRAC che è stato finanziato dal Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali (D.M. 12488/7303/11 del 09/06/2011) nell'ottica di proporre metodologie e modelli per la valutazione del grado di integrazione tra gli aspetti tecnici e quelli ergonomici di alcune macchine agricole considerandole come vere e proprie "postazioni di lavoro complesse". Il progetto è stato condotto da un vasto gruppo di ricerca multidisciplinare che ha visto unite competenze ingegneristiche, agronomiche, ergonomiche, socio-psicologiche, medico-sanitarie, normative e formative coordinato dal Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per l'ingegneria agraria (CRA-ING). Oltre al CRA-ING - nelle sue due sedi di Monterotondo (RM) e Treviglio (BG) - e all'ENAMA (Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola) di Roma che costituivano le Unità Operative del Progetto, la ricerca si è avvalsa della competenza di partner altamente specializzati nei vari settori d'interesse quali: il CRA-PAV di Roma, la Ditta Active di Roma, la Ditta Carlo Volpi di Monterotondo (RM), l'INAIL di Monteporzio Catone (RM), il CNR-IIA di Montelibretti (RM), ErgoCert Srl di Udine, il Dipartimento di Scienze Mediche e Biologiche dell'Università di Udine, Ergoproject Srl di Roma, il Dipartimento di Psicologia della Sapienza Università di Roma, il CNR-IMAMOTER di Torino, il Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi dell'Università di Torino, PAN-PAN Editore Srl di Milano. In questo volume sono riportati i principali risultati scaturiti dall'attività del Progetto, suddivisi in 11 capitoli che riflettono le principali linee e azioni di ricerca perseguite.



Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura,
Unità di ricerca per l'ingegneria agraria (CRA-ING)

ISBN 978-88-97081-65-4