

# **SPERIMENTAZIONE DI UN GUANTO STRUMENTATO CON SENSORI, PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DA VIBRAZIONI AL DISTRETTO MANO-BRACCIO**

A. BIANCONI<sup>1</sup>, F. RUSPOLINI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INAIL - Direzione Regionale Umbria - Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e Prevenzione.

## **RIASSUNTO**

Negli ultimi anni la comunità scientifica si è molto adoperata al fine di poter migliorare la stima del rischio professionale che le vibrazioni trasmesse da alcune attrezzature portatili, possono ingenerare a carico del distretto mano-braccio dell'utilizzatore (HAV).

La metodica di valutazione che si è affermata, si basa su misure di accelerazione svolte tramite accelerometri triassiali, con una ponderazione dei valori in relazione alle frequenze.

In questa sperimentazione si è affiancato al metodo tradizionale, un sistema in grado di misurare le pressioni fra la mano e l'impugnatura dell'attrezzo, realizzato con un guanto da lavoro appositamente strumentato con sedici sensori di pressione. L'obiettivo era quello di verificare la relazione fra l'accelerazione e la pressione sui punti della mano maggiormente sollecitati.

## **SUMMARY**

Recently the scientific community has made great efforts to improve the evaluation about the occupational risk that vibrations produced by some portable equipment, can cause to the worker's hand-arm (HAV).

The main method of assessment is based on the measurement of acceleration by triaxial accelerometer, with a weighting of values in relation to the frequency.

In this study, we use the traditional method and a system for measuring the pressure between the hand and the tool by a working glove with sixteen pressure sensors. The goal was to verify the relation between the acceleration and the pressure on the hand.

## **1. INTRODUZIONE**

I risultati delle misure di accelerazione condotte sulle attrezzature vibranti portatili, sono notoriamente molto influenzati dalle caratteristiche dell'operatore che svolge la prova, dalla modalità operativa, dallo stato di conservazione dell'attrezzo, dalle condizioni dell'utensile installato e da molti altri ancora. La conseguenza, è che il valore misurato ha una bassa ripetibilità e una grande dispersione dei valori, così i dati disponibili, forniti da costruttori di macchine o presenti nelle banche dati, possono essere scarsamente applicabili a casi reali anche se similari a quelli di origine. L'emphase potrebbe essere superata associando al valore dell'accelerazione, anche il dato della pressione di presa dell'utensile, parametro che ha dimostrato anch'esso una sicura correlazione con i disturbi causati dalle vibrazioni (Report CEN 12349/1996).

I test medici (fotopletismografia e temperatura superficiale della mano), condotti sugli operatori prima e dopo l'uso degli attrezzi vibranti, hanno dimostrato una riduzione del flusso sanguigno direttamente proporzionale al livello dell'accelerazione misurata (R. DEBOLI et al., 2001), inoltre una riduzione localizzata del flusso sanguigno, è stata riscontrata anche sulle dita sollecitate con sole forze statiche di 2 e 5 Newton (M. BOVENZI et al., 2006).

Nell'ambito dei Comitati Tecnici, i rappresentanti tedeschi hanno avanzato la proposta di usare la forza di contatto mano-attrezzo, per determinare un opportuno fattore di correzione dell'accelerazione; la proposta non è stata accettata perché non era accompagnata dalla correlazione fra il nuovo valore di accelerazione ed il corrispondente livello di rischio (HSE-O.C.246/34/2004).

Anche la stessa norma ISO 5349-1, raccomanda di corredare il dato misurato, con la descrizione della lavorazione e dei fattori ergonomici quali grip e forza di spinta sull'impugnatura, però non

indica come misurare tali aspetti, argomento demandato alla ISO15230/2007, alla quale è seguita qualche critica: il metodo di prova ostacola eccessivamente l'operatore durante l'uso dell'attrezzo, comporta l'inserimento di un spessore non trascurabile fra la mano e l'impugnatura ed infine è applicabile solo alle frequenze minori di 10 Hz.

Il metodo del guanto strumentato presentato in questo studio può superare parte dei limiti sopra evidenziati e fornire un dato di pressione di presa, da affiancare al valore dell'accelerazione misurata.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 Caratteristiche della strumentazione impiegata

Il sistema di misura della pressione, applicato ad un comune guanto da lavoro (figura 1), è basato su una scheda di acquisizione dati avente 16 distinti canali; a questi sono stati collegati altrettanti sensori di tipo capacitivo. I sensori capacitivi, altro non sono che condensatori elettrici aventi capacità variabile a seconda della pressione che li sollecita e che quindi "schiaccia" il materiale dielettrico contenuto fra le due armature; le specifiche tecniche sono riassunte nella tabella 1.

Tabella 1: Specifiche tecniche dei sensori utilizzati

Dimensione del sensore	D = 10 mm (millimetri)
Spessore del sensore	S = 1 mm
Campo di pressione misurabile	Da 0 a 4,20 kg/cm <sup>2</sup>
Frequenza massima	150 Hz
Durata media del sensore	100.000 cicli
Temperatura ammissibile	Da 0 a 45 °C
Tensione di alimentazione	Da 3 a 6 Vdc
Corrente	5 mA
Resistenza a sensore scarico	> 500 kΩ
Resistenza a pieno carico	500 Ω

I sedici sensori, sono stati posizionati sulla superficie del guanto da lavoro (della mano destra), nelle posizioni ritenute più esposte alle sollecitazioni durante la presa degli attrezzi da lavoro. Nelle due immagini che seguono è visibile il guanto, con i sensori applicati e la numerazione degli stessi.

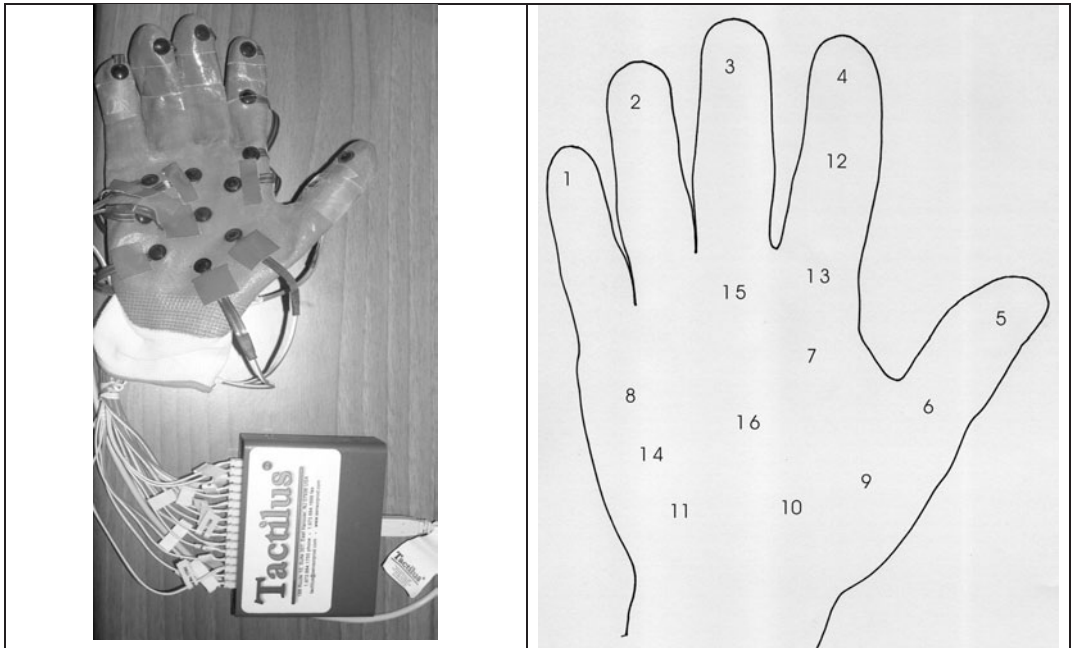


Figura 1. Sinistra: guanto con sensori e scheda di acquisizione. Destra: numerazione dei sensori.

Il sistema di acquisizione si completa con il software che ha il compito di ricevere i valori e di mostrare in tempo reale l'andamento della pressione su ogni sensore e quella complessiva, nel dominio del tempo. Come risultati globali di ogni prova, vengono forniti: i livelli medi e massimi raggiunti dalla pressione, la forza complessivamente applicata ed il sensore più sollecitato.

Ovviamente le misure possono essere memorizzate ed anche esportate verso altri software. In questo studio, i dati sono stati trasferiti ed ulteriormente elaborati tramite un foglio di calcolo realizzato con il programma excel; i risultati ottenuti sono riassunti e commentati nelle prossime pagine.

Il sistema così strutturato, presenta i seguenti limiti e vantaggi: in primo luogo, i sensori possono essere posizionati sulle parti più "interessanti" della mano, però il massimo numero utilizzabile è di sedici elementi. La misura della pressione avviene sia in condizioni statiche che dinamiche, la massima frequenza operativa è di 150 Hz, non eccessivamente elevata, ma pur sempre adeguata a buona parte delle attrezzature vibranti ed in ogni caso molto più elevata dei 10 Hz della ISO 15230.

Lo spessore dei sensori è basso e quindi poco invasivo nei confronti dell'operatore, anche se un minimo di costrizione è dovuto ai cavi elettrici dei sensori, alla scatola contenente l'elettronica ed al cavo *USB* che collega il guanto al computer. I cavi ed i componenti, durante i test, sono stati fissati tramite nastro adesivo in modo da non interferire con la lavorazione.

La scelta di fissare i sensori al guanto da lavoro, consente di adattare immediatamente il sistema ad ogni impugnatura di qualunque strumento da lavoro, indipendentemente dalla conformazione e dalla curvatura. Sulla durata dei sensori, i 100000 cicli indicati dal fornitore sono adeguati alle applicazioni esaminate, piuttosto i problemi registrati con maggior frequenza, sono dovuti al distacco del sensore dalla superficie del guanto. Questo inconveniente potrebbe essere superato in una successiva industrializzazione del sistema, annegando i sensori proprio all'interno della gomma di cui è costituito il guanto. Il sensore di tipo capacitivo è stato scelto perchè è quello che ha dimostrato la miglior attitudine all'impiego (S. ZONCHEDDU, 2007): offre una buona linearità, una bassa isteresi, una buona risposta in frequenza, una buona stabilità al variare della temperatura e dell'umidità ambientale.

Parallelamente al guanto strumentato, si è impiegato anche un misuratore di vibrazioni (*Maestro* di *OIDB*), per misurare l'accelerazione ponderata  $a_{hw}$  secondo la ISO 5349-1 ed un contagiri a lettura ottica, per determinare il numero di giri dell'organo rotante di alcuni attrezzi usati nello studio.

## 2.2 Svolgimento delle misure

I due operatori scelti per le prove, erano adeguatamente formati sull'utilizzo degli attrezzi; le prime prove sono state condotte in maniera statica usando un'impugnatura cilindrica del diametro di 50 millimetri, al fine di valutare i valori massimi della pressione di presa sviluppata dagli addetti, depurata dal fattore di "disturbo" rappresentato dalle vibrazioni e dalle lavorazioni.

Le misure sugli attrezzi sono state svolte, parte in maniera simulata e parte su lavorazioni reali nelle normali condizioni operative. Le prove simulate sono state svolte su di un trapano elettrico *Bosch GSB20-2* attrezzo dotato di mandrino e di regolatore di velocità elettromeccanico in grado di fornire 16 velocità fra 600 e 3100 g/m. Sul mandrino sono state serrate, alternativamente, tre differenti masse eccentriche in modo da ottenere vari livelli di accelerazione centripeta  $a_c$  compresi fra 150 e 3850 m/s<sup>2</sup>. Sull'impugnatura posteriore del trapano, l'effetto delle masse eccentriche e dei diversi numeri di giri, ha comportato un livello di accelerazione ponderata  $a_{hw}$  compreso fra 0,8 e 27 m/s<sup>2</sup>.

Gli operatori, indossando il guanto strumentato, hanno eseguito varie prove combinando masse eccentriche e velocità; i dati sono stati acquisiti e memorizzati nel PC.

In sintesi, è stato possibile valutare i seguenti aspetti:

- Legame fra accelerazione centripeta  $a_c$  (grandezza fisica) e accelerazione ponderata  $a_{hw}$  (grandezza igienistica).
- Relazione fra pressione di presa esercitata dall'operatore e accelerazione  $a_{hw}$  misurata sull'impugnatura.
- Ripetibilità delle misure, con lo stesso operatore e con diversi operatori.
- Distribuzione della pressione di presa sulle varie aree della mano e le zone più sollecitate.
- Andamento della pressione sul singolo sensore in funzione del tempo e dell'accelerazione  $a_{hw}$ .

Invece, le prove svolte sugli altri attrezzi vibranti nelle normali condizioni di utilizzo, hanno permesso di confrontare le accelerazioni  $a_{hw}$  emesse, la corrispondente pressione di presa esercitata dall'operatore e le parti della mano più sollecitate.

## 3. RISULTATI

### 3.1 Prove statiche

Le prove di presa statica effettuate sull'impugnatura cilindrica ( $D = 50$  mm), hanno permesso di verificare il corretto funzionamento di tutti i sedici sensori disposti sul guanto e parimenti hanno permesso di determinare la pressione media su ogni sensore. Ad ogni operatore è stato chiesto di afferrare il cilindro con la massima forza, per un tempo di 30 secondi. L'operatore 1 (altezza 174 cm, peso 74 kg, lunghezza della mano 17 cm, larghezza mano 9 cm), nella presa raggiunge la pressione di 3,19 kg/cm<sup>2</sup> sul sensore più sollecitato (il numero 2, corrispondente alla punta del dito anulare) e la pressione media di 1,54 kg/cm<sup>2</sup> come media dei 16 sensori. L'operatore 2 (di corporatura più robusta) alto 182 cm, 95 kg di peso e 20 per 11 cm di dimensione della mano, invece è in grado di esercitare una pressione praticamente uguale (3,14 kg/cm<sup>2</sup>) sul sensore più sollecitato (anche in questo caso il sensore 2) e la pressione media di 1,22 kg/cm<sup>2</sup> come media dei 16 sensori. Una presa così forte, può essere attuata solo per pochi secondi, poi subentra una sensazione prossima al dolore, accompagnata da un rapido calo della performance. Moltiplicando la pressione media per la superficie (lorda) della mano, determiniamo l'ordine di grandezza della forza di presa  $Fp$ , che per l'operatore 1 è di circa 240 kg, mentre per l'operatore 2 è di circa 270 kg, valori di tutto rispetto. Le aree della mano più sollecitate sono, per l'operatore 1, le estremità delle dita (sensori numero 2, 3 e 4) e la parte che vi si oppone: il pollice ed il tenar del pollice (sensori numero 6, 9, 7 e 16). L'operatore 2 ha la mano più grande ed abbraccia meglio tutta la superficie, quindi i valori sui sensori sono più livellati ed in particolare lavorano i seguenti: 2, 13, 6, 9, 16, 7, 3 15 e 8.

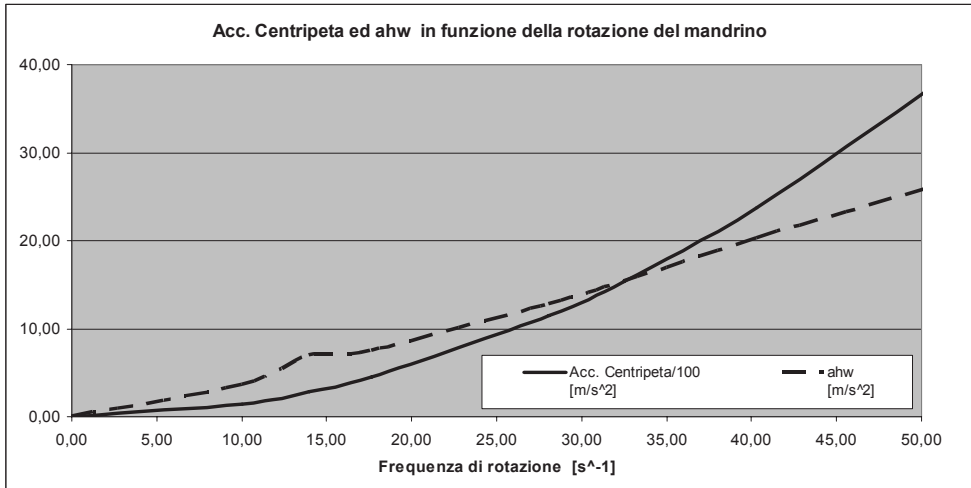


Grafico 1. Andamento dell'accelerazione centripeta e dell'accelerazione ponderata.

### 3.2 Prove dinamiche simulate

Le prove simulate con il trapano *Bosch GSB20* e le tre differenti masse sul mandrino ( $m_1$  27 gr, eccentricità 37 mm;  $m_2$  3 gr, eccentricità 18 mm;  $m_3$  13 gr, eccentricità 29 mm), hanno permesso di ottenere sull'impugnatura posteriore, un'accelerazione  $a_{hw}$  crescente fino a  $27 \text{ m/s}^2$ . Il grafico 1, mostra il differente andamento dell'accelerazione centripeta calcolata  $a_c$  (divisa per 100 al fine di rendere i valori paragonabili), rispetto all'accelerazione ponderata  $a_{hw}$  misurata. Si nota che l'accelerazione ponderata cresce meno repentinamente di quella centripeta all'aumentare della frequenza di rotazione del mandrino, situazione imputabile ai fattori di ponderazione stabiliti dalla Norma ISO 5349, che sono minori di uno a partire dai 20 ai 1250 Hz.

Il grafico 2, invece, mostra l'andamento della pressione di presa, come media dei 16 sensori, che si instaura fra la mano dell'operatore 1 e l'impugnatura del trapano, in funzione dell'accelerazione  $a_{hw}$ . Si osserva che il valore medio di pressione  $P_m$  varia in un range abbastanza limitato al variare delle accelerazioni misurate e tende a crescere parallelamente all'accelerazione fino a raggiungere il limite fisiologico dell'addetto. Anche la pressione sul sensore più sollecitato  $P_{m_{max}}$  ed i picchi di pressione  $P_{peak}$  tendono ad aumentare con l'aumento delle accelerazioni.

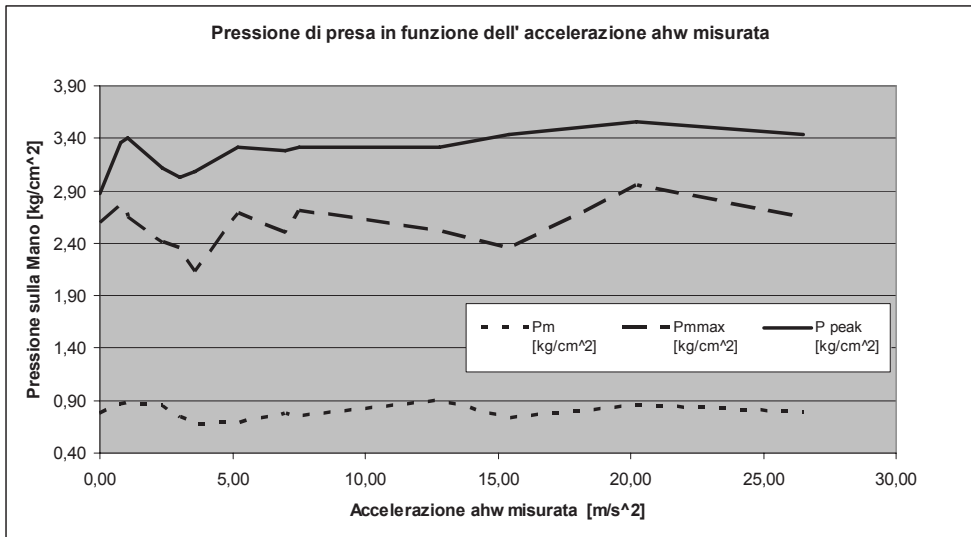


Grafico 2. Pressione sulla mano in funzione del livello di accelerazione trasmesso dall'attrezzo.

Il grafico 3, tracciato ripetendo tre sessioni di prova in tempi distinti, fermo restando tutti gli altri parametri, dimostra la buona ripetibilità delle misure, in particolare per i più alti livelli di accelerazione. La deviazione standard dei dati è compresa fra 0,03 e 0,22 con una media di 0,08.

Si osserva che la pressione media di presa  $P_m$  fra mano ed impugnatura è di circa  $0,8 \text{ kg/cm}^2$ , considerando che la superficie di contatto della mano è di circa  $150 \text{ cm}^2$  (operatore 1), è possibile determinare la forza media con la quale viene bloccato l'attrezzo.

$$F_p = P_m \times A = 120 \text{ kg forza (corrispondenti a } 1177 \text{ N)}$$

Invece la pressione massima  $P_{mmax}$ , è la pressione media riferita al sensore più sollecitato durante la presa, questa vale circa  $2,5 \text{ kg/cm}^2$ , infine, con il termine pressione di picco  $P_{peak}$  si intende il valore più alto della pressione di contatto raggiunto in uno dei 16 sensori posizionati sul guanto.

Ulteriori prove sono state condotte con i due operatori, chiamati ad utilizzare lo stesso attrezzo nelle stesse condizioni. Il grafico 4, mostra i livelli di accelerazione  $a_{hw}$  in funzione del numero di giri del mandrino dotato di massa eccentrica. Come spesso accade, l'operatore più robusto registra un minor livello dell'accelerazione; la differenza diviene considerevole (25%) per i livelli più alti.

Se nelle stesse condizioni misuriamo la pressione media di presa sull'impugnatura dello strumento in funzione dell'accelerazione trasmessa alla mano, si nota che (grafico 5), all'aumentare dell'accelerazione, la risposta dell'operatore è quella di aumentare, per quanto possibile, la forza di presa e difatti l'operatore più robusto arriva in maniera crescente a  $1,1 \text{ kg/cm}^2$ , mentre il secondo addetto raggiunge il suo massimo di  $0,9 \text{ kg/cm}^2$  (differenza del 22%), quando l'accelerazione è di circa  $12 \text{ m/s}^2$  per poi calare di nuovo.

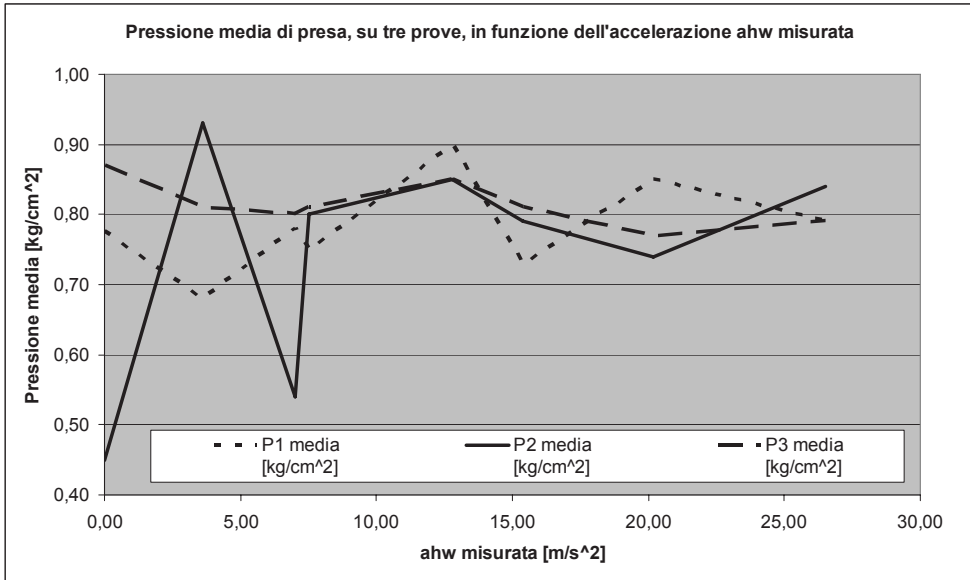


Grafico 3. Pressione media sulla mano in funzione del livello di accelerazione trasmesso dall'attrezzo, tre distinte misure svolte nelle medesime condizioni.

L'ultima considerazione è sulla forza di presa dello strumento: l'operatore più robusto ha anche una superficie della mano maggiore del 40% rispetto all'altro, quindi la forza con cui riesce a serrare l'impugnatura dello strumento vibrante (data dal prodotto della pressione media per la superficie di contatto) è complessivamente superiore del 75% circa.

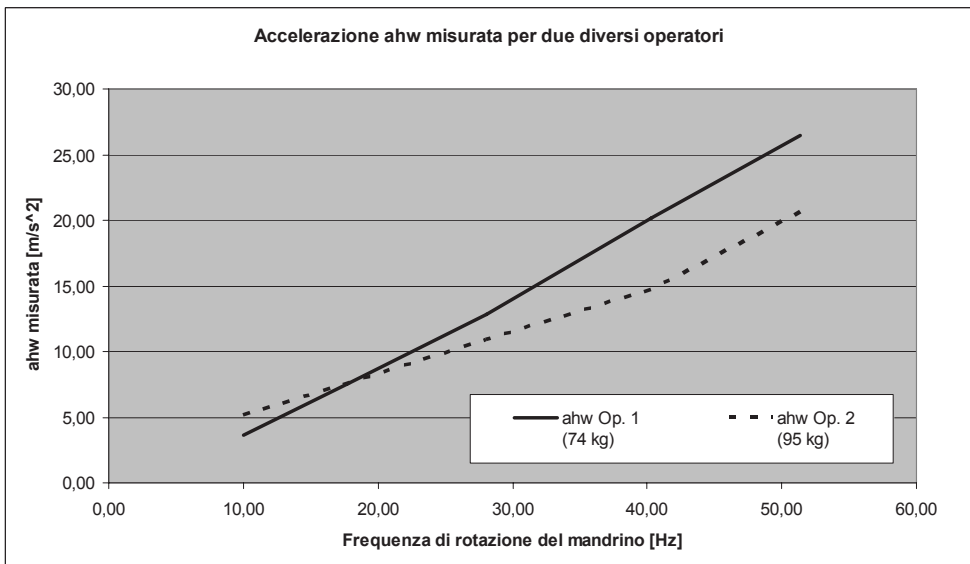


Grafico 4. Confronto dell'accelerazione misurata con operatori aventi differente struttura fisica.

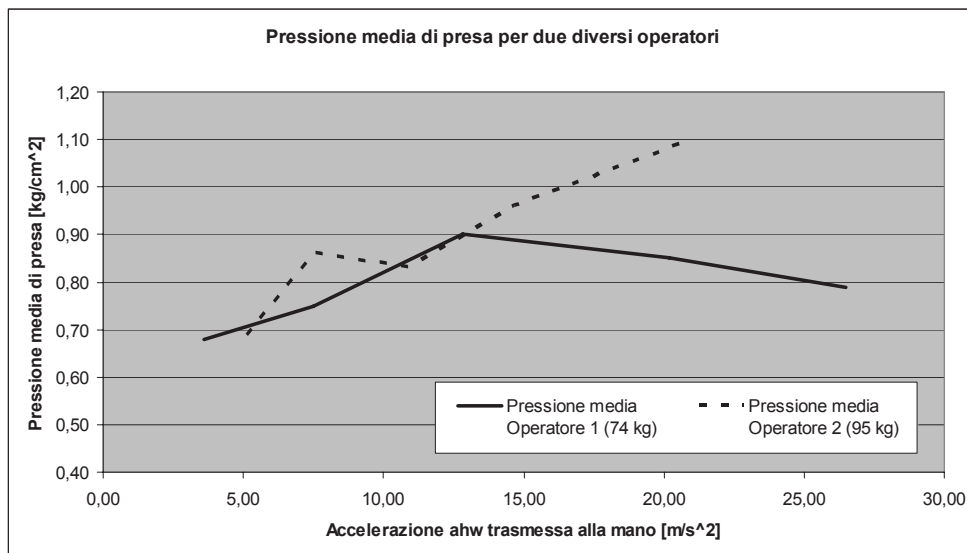


Grafico 5. Confronto della pressione di presa con operatori aventi differente struttura fisica.

### 3.3 Prove dinamiche su lavorazioni reali

Altre prove sono state condotte con vari strumenti su lavorazioni reali: due seghetti alternativi aventi caratteristiche simili *B&D KS531* da 370 watt e *Bosch PST54E* da 350 watt, una smerigliatrice rotorbitale *Casals VLR220* da 155 watt ed un trapano tassellatore *KT291* elettropneumatico da 620 watt.

I risultati, riassunti in tabella 2, permettono di fare ulteriori considerazioni sulle accelerazioni e sulla distribuzione della pressione sulla mano, in funzione dello strumento e dell'utilizzatore. Per il trapano *GSB20*, i dati si riferiscono a tre velocità, in grassetto sono evidenziati i valori più elevati.

Ordinando i risultati per accelerazioni  $a_{hw}$  crescenti, osserviamo che le differenze fra i due operatori a parità di attrezzo variano da -37% (seghetto *B&D*) a +42% (trapano *Bosch* alla velocità 11); i valori più bassi si hanno (per entrambi gli operatori) per il trapano *Bosch GSB20* usato a bassa velocità e per i due seghetti alternativi; il valore più elevato per lo stesso trapano (usato alla massima velocità), per questo la differenza fra i due operatori è del 22%. Se invece focalizziamo l'attenzione sulle pressioni medie di contatto  $P_m$ , si nota che in linea di massima, i valori più bassi si hanno per l'operatore 1, quando usa la levigatrice, i seghetti ed il trapano tassellatore, ed i valori più alti per i trapani e per la levigatrice quando usata dall'addetto 2. Anche per questo parametro, le differenze fra i due operatori sono elevate nell'uso dello stesso attrezzo e comprese fra -8% e +136%. Analogo andamento si riscontra anche per le pressioni medie sul sensore più sollecitato  $P_{m_{max}}$ ; come valori, l'operatore 2 supera i 3 kg/cm<sup>2</sup>, mentre l'operatore 1 supera i 2,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Ipotizziamo di poter correggere l'accelerazione  $a_{hw}$  tenendo conto anche della pressione media che si instaura sulla mano  $P_m$ : a titolo di esempio, moltiplichiamo brutalmente i due valori ( $a_{hw} \times P_m$ ) il nuovo indicatore fornisce un aumento del livello di rischio a carico degli attrezzi caratterizzati sia da elevate accelerazioni, sia da elevate pressioni di contatto. I valori più bassi si trovano per il trapano *Bosch GSB20* ed il seghetto *Bosch PST54E*, per entrambi gli operatori, mentre i valori massimi si hanno ancora per il Trapano *Bosch GSB20* usato ad alta velocità.

Infine, se osserviamo il rapporto fra l'accelerazione misurata e la pressione media di contatto ( $a_{hw}/P_m$ ), per lo stesso attrezzo le differenze fra i due operatori vanno da -54% a +40%. I valori minori si registrano per il trapano *Bosch GSB20* usato a bassa velocità, mentre quelli più elevati si hanno per: seghetto *B&D*, trapano *KT291* e trapano *Bosch GSB20*, (alla massima velocità), sempre quando usati dall'operatore 1.



Di fatto, l'introduzione di un fattore correttivo dell'accelerazione correlato dalla pressione di contatto, appare auspicabile, chiaramente questo deve essere determinato e verificato sulla base degli studi epidemiologici e supportato da test medici.

Tabella 2. Confronto fra i vari attrezzi ed operatori.

Attrezzo	Op.	$a_{hw}$	$Pm$	$Pm_{max}$	$a_{hw} \times Pm$	$a_{hw}/Pm$	N.
Trapano <i>BoschGSB20 (v.11)</i>	1	3,6	0,68	2,13	2,4	5,3	16-7-13-12-6-1
Seghetto <i>Bosch PST54E</i>	1	4,6	0,56	2,37	2,6	8,2	12-13-1-7-16-6
Trapano <i>BoschGSB20 (v.11)</i>	2	5,1	0,69	2,8	3,5	7,4	12-16-7-13-6-15
Seghetto <i>Bosch PST54E</i>	2	6,3	0,59	2,46	3,7	10,7	16-13-12-7-1-15
Seghetto <i>B&amp;D KS531</i>	2	6,9	0,59	2,37	4,1	11,7	16-7-13-1-12-6
Levigatrice <i>CASALS VLR220</i>	1	8,6	0,47	2,1	4,0	18,3	13-7-1-4-6-12
Levigatrice <i>CASALS VLR220</i>	2	9,7	<b>1,11</b>	<b>3,16</b>	<b>10,8</b>	8,7	2-16-7-13-9-4
Trapano Tassellatore <i>KT291</i>	2	9,85	<b>0,87</b>	<b>3,16</b>	8,6	11,3	16-13-7-2-12-6
Trapano <i>BoschGSB20 (v.21)</i>	2	10,9	0,83	<b>3,12</b>	9,0	13,1	16-9-6-7-13-12
Seghetto <i>B&amp;D KS531</i>	1	10,9	0,48	1,95	5,2	<b>22,7</b>	7-13-9-1-16-6
Trapano <i>BoschGSB20 (v.21)</i>	1	<b>12,8</b>	<b>0,9</b>	2,52	<b>11,5</b>	14,2	7-16-6-12-13-2
Trapano Tassellatore <i>KT291</i>	1	<b>13,7</b>	0,56	2,52	7,7	<b>24,5</b>	7-16-13-1-12-2
Trapano <i>BoschGSB20 (v.28)</i>	2	<b>20,6</b>	<b>1,09</b>	<b>3,6</b>	<b>22,5</b>	<b>18,9</b>	12-16-9-6-7-13
Trapano <i>BoschGSB20 (v.28)</i>	1	<b>26,5</b>	0,79	2,64	<b>20,9</b>	<b>33,5</b>	7-16-2-6-13-4

Dove:  $a_{hw}$  è l'accelerazione ponderata misurata con lo strumento *Maestro*; *Op.* è l'operatore che ha eseguito la prova (operatore 1, 74 kg; operatore 2, 95 kg);  $Pm$  è la pressione media sulla mano;  $Pm_{max}$  è la pressione media sul sensore più sollecitato;  $a_{hw} \times Pm$  è il prodotto dei due;  $a_{hw}/Pm$  è il rapporto dei due; N. sono i numeri dei sensori più sollecitati, elencati in ordine decrescente.

Le parti della mano più soggette alla pressione, si individuano osservando i valori dei singoli sensori, si nota che i punti più sollecitati sono quelli al centro del palmo (sensori 16 e 7), quelli sul dito indice (numeri 12 e 13), essendo il dito che agisce sul pulsante di accensione dell'attrezzo, quelli sul pollice (numeri 6 e 9), quelli posti all'estremità del dito mignolo e anulare (numeri 1 e 2); al contrario, risultano meno sollecitati quelli prossimi al polso (numeri 10 e 11) ed al profilo esterno del palmo (numero 14).

Il grafico 6, tracciato con i valori della tabella 2, mostra che l'aumento delle accelerazioni trasmesse dagli strumenti comporta anche un aumento della pressione di presa, anche se il valore assoluto della pressione dipende sia dalle caratteristiche fisiche dell'operatore (l'operatore 2 ha valori più alti), sia dal tipo di lavorazione e dalla modalità operativa (es. l'operatore 2 usa la levigatrice in maniera molto diversa dall'operatore 1, premendola fortemente contro il materiale in lavorazione, invece l'operatore 1 arriva ad una pressione molto elevata usando il trapano alla velocità 21).

### 3.4 Considerazioni sulla pressione di contatto rilevata dai sensori

Spostando l'attenzione su un singolo sensore, è possibile determinare la pressione per tutta la durata della prova, il grafico 7 mette a confronto i livelli di pressione sul sensore 16 (posizionato al centro della mano), nell'utilizzo del trapano *Bosch GSB20* a varie velocità di funzionamento.

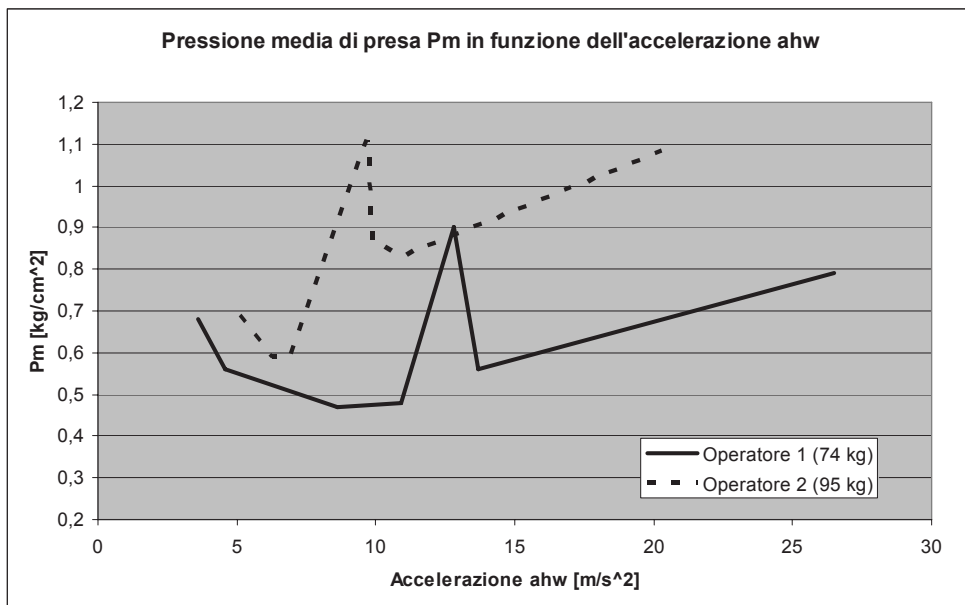


Grafico 6. Pressione media di presa in funzione dell'accelerazione, con differenti attrezzi.

Si nota che la pressione di contatto aumenta all'aumentare dell'accelerazione  $a_{hw}$  e per i valori più elevati raggiunge il limite di circa  $3,5 \text{ kg/cm}^2$ ; l'aumento in media è del 10-15% in più passando dal valore di accelerazione più basso a quello più elevato. In più, il valore della pressione, a parità di accelerazione, oscilla nel tempo mantenendosi entro una forbice di circa  $0,2 \text{ kg/cm}^2$ .

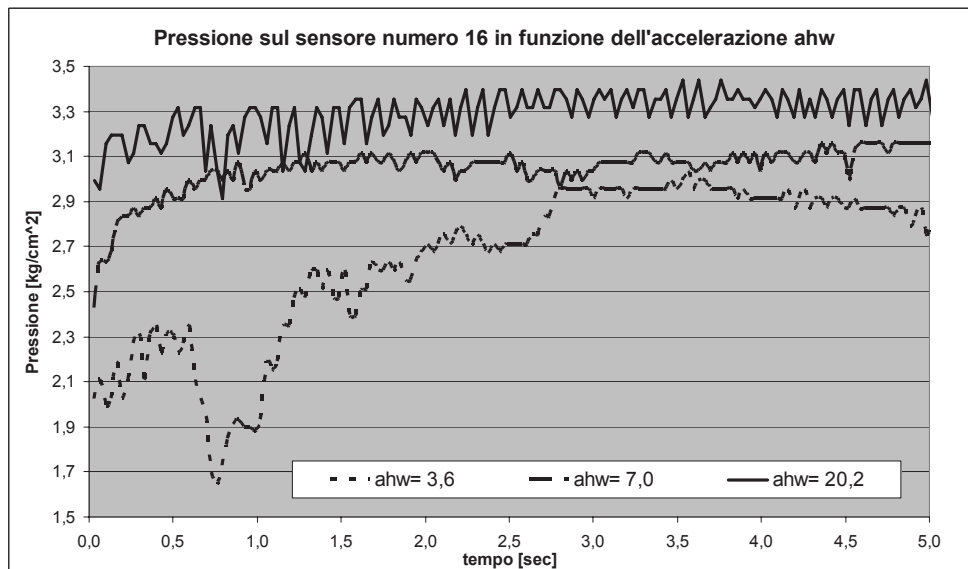


Grafico 7. Andamento della pressione su uno dei sensori in funzione di  $a_{hw}$  misurata.

#### 4. CONCLUSIONI

Le prove su alcune attrezzature da lavoro in grado di trasmettere vibrazioni al sistema mano-braccio dell'utilizzatore, sono state condotte in varie condizioni operative, da due differenti addetti e con la misura delle accelerazioni attraverso il metodo classico (accelerometro triassiale e ponderazione in frequenza); a questa misura è stata associata la misura della pressione di presa nei sedici punti della mano ritenuti più rappresentativi, determinata tramite un guanto strumentato appositamente creato.

Le prove hanno permesso di confermare che le accelerazioni  $a_{hw}$  che gli attrezzi trasmettono all'utilizzatore, a parità di tutte le altre condizioni, variano sensibilmente al variare della struttura fisica dell'utilizzatore e delle modalità di utilizzo, con differenze anche del 40 % sullo stesso attrezzo, se usato da un diverso operatore o anche se usato in maniera più o meno "energica" dallo stesso. Questa evidenza conferma ancora una volta che i valori delle accelerazioni riportati nelle banche dati o forniti dai costruttori di macchine possono essere ben poco rappresentativi se calati in situazioni anche poco differenti da quelle originarie.

La pressione di presa che l'operatore può esercitare sull'impugnatura dello strumento, dipende dalle caratteristiche anatomiche e ha come limiti circa  $3,5 \text{ kg/cm}^2$  come valore massimo sui punti più sollecitati e circa  $1,5 \text{ kg/cm}^2$  come valore medio di tutti i sensori. All'aumentare dell'accelerazione proveniente dall'attrezzo, l'operatore tende ad aumentare la presa, fino al limite fisiologico.

I punti della mano più sollecitati, cambiano in funzione della morfologia delle impugnature; per gli attrezzi esaminati, sono stati quelli ubicati al centro della mano (sensori numero 16 e 7), seguono quelli posti sul dito indice (che aziona il grilletto di accensione, sensori numero 12 e 13), poi l'estremità del mignolo e dell'anulare (sensori 1 e 2) ed infine il tenar del pollice (sensore 9), che si contrappone ai precedenti due.

Per determinare il livello di rischio associato all'utilizzo delle attrezzature portatili vibranti, dimostrato l'effetto vasocostrittore dovuto alle vibrazioni ed anche alle semplici forze statiche di compressione dei tessuti, è opportuno considerare sia l'accelerazione ponderata in frequenza  $a_{hw}$ , che la pressione media  $P_m$  sulla mano. Infine, il valore massimo locale della pressione  $P_{m_{max}}$ , è un indicatore utile soprattutto ai costruttori di macchine, in fase di progettazione delle impugnature degli attrezzi.

#### 5. RINGRAZIAMENTI

Ringrazio il collega Sergio Spinosi, per la preziosa collaborazione nelle prove con gli attrezzi.

#### BIBLIOGRAFIA

**Norma ISO 5349-1/2007:** Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements.

**CEN report 12349/1996:** Mechanical vibration - Guide to the health effects of vibration on the human body.

**HSE Operational Circular O.C.246/34/2004:** Mechanical vibration and shock standards: status of BSI, CEN and ISO work at January 2004.

**Norma ISO 15230/2007:** Mechanical vibration and shock - Coupling forces at the man machine interface for hand-transmitted vibration.

**M. Bovenzi, A. J. L. Welsh, A. Della Vedova, M.J. Griffin:** Acute effects of force and vibration on finger blood flow, 2006.

**M. Bovenzi, A. C. J. Lindsell, M.J. Griffin:** Acute vascular responses to the frequency vibration transmitted to the hand. 2000.

**R. Deboli, G. Di Giulio, R. Marsili:** Nuova metodologia per il rilevamento delle vibrazioni prodotte da macchine vibranti sul sistema mano-braccio, Vieste, 2001.

**S. Zoncheddu:** Studio di matrici di sensori di tipo capacitivo per la misura delle vibrazioni trasmesse da macchinari all'uomo, 2007, Dottorato di ricerca, Università degli Studi di Perugia.

**ISPESL:** Linee guida per la valutazione del rischio da vibrazioni negli ambienti di lavoro, [www.ispesl.it](http://www.ispesl.it)