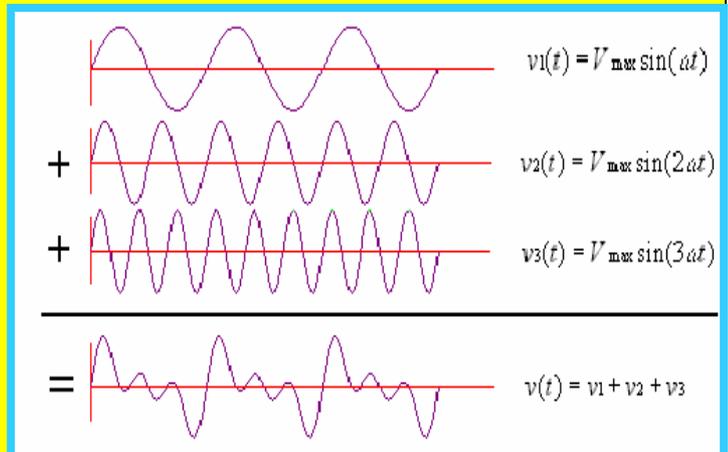
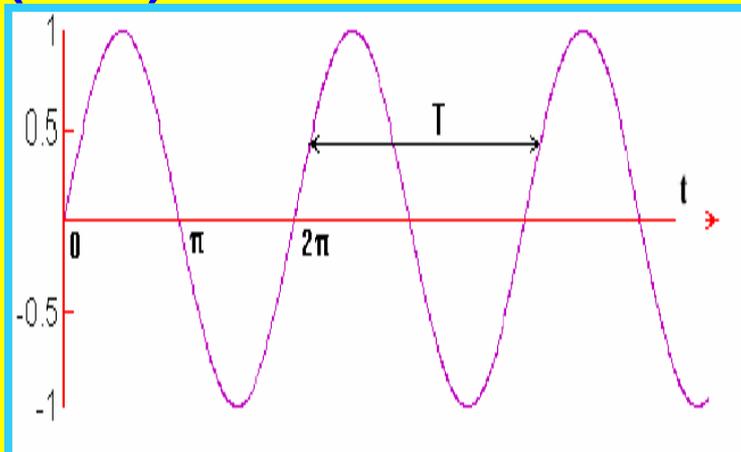


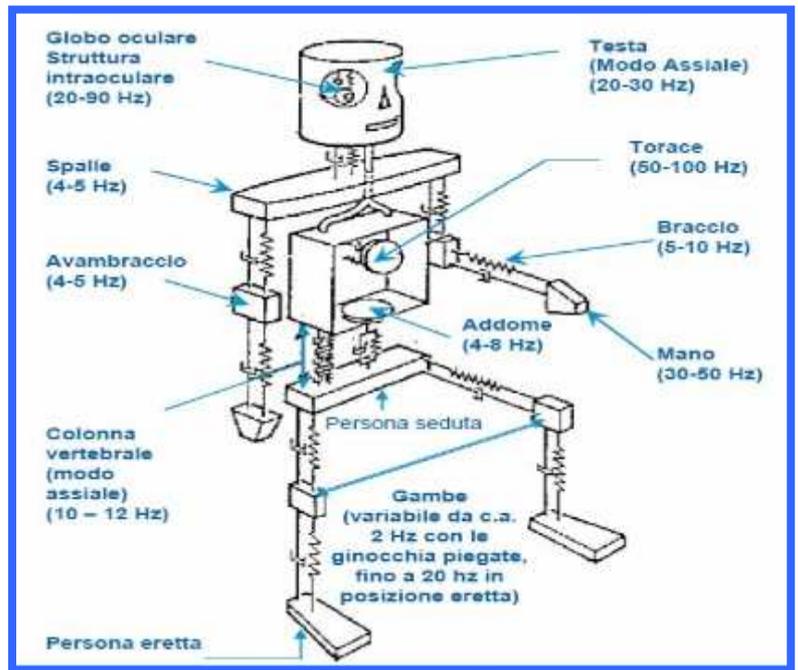
Tesi di Laurea in
Misure di vibrazioni mano braccio
in ambienti di lavoro
*Incidenza del sistema di montaggio
dell'accelerometro sui valori rilevati
nelle misure.*

Si definiscono “vibrazioni” i processi dinamici indotti in corpi elastici da sollecitazioni aventi carattere ripetitivo nel tempo; esse sono quindi rappresentate da un'onda sinusoidale, caratterizzata, come tutti i fenomeni dello stesso tipo, dalla frequenza e dall'ampiezza dell'oscillazione.

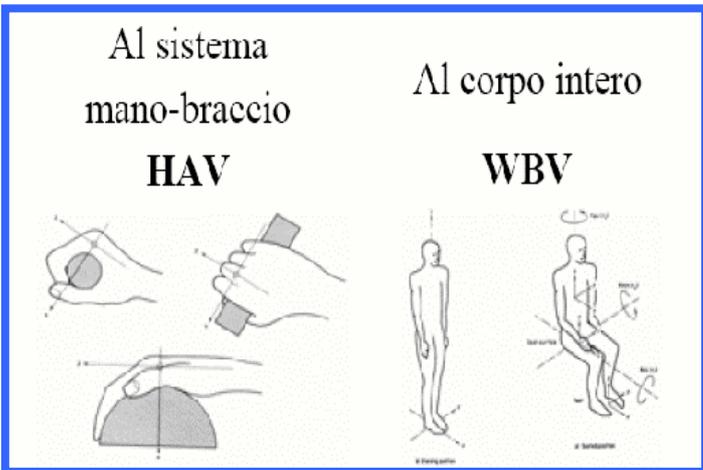
La frequenza viene espressa come numero di oscillazioni al secondo o Herz (Hz); l'ampiezza rappresenta lo spostamento massimo dalla posizione di equilibrio e viene espressa come spostamento (metri), velocità (m/s), o accelerazione (m/s^2).



L'energia di vibrazione viene trasmessa al corpo umano tramite il contatto con un utensile o una superficie vibrante; il nostro corpo, come molti sistemi meccanici, ha la capacità di smorzare le oscillazioni riducendone così l'ampiezza.



Nella posizione eretta gli arti inferiori smorzano le vibrazioni verticali mentre quelle orizzontali, che si trasmettono prevalentemente attraverso le mani, si riducono progressivamente nelle stesse, sui gomiti e sulle spalle.



Vibrazioni trasmesse al corpo intero (WBV) *“le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al corpo intero, comportano rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in*

particolare lombalgie e traumi del rachide”

Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio

(HAV) *“le vibrazioni meccaniche che, se trasmesse al sistema mano-braccio nell'uomo, comportano un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici o muscolari”*

Vibrazioni trasmesse al corpo intero (WHOLE BODY VIBRATION).

Vengono anche dette “scuotimenti” e sono caratterizzate da bassa frequenza (1-2 Hz) e media frequenza (fra 2 e 20 Hz).

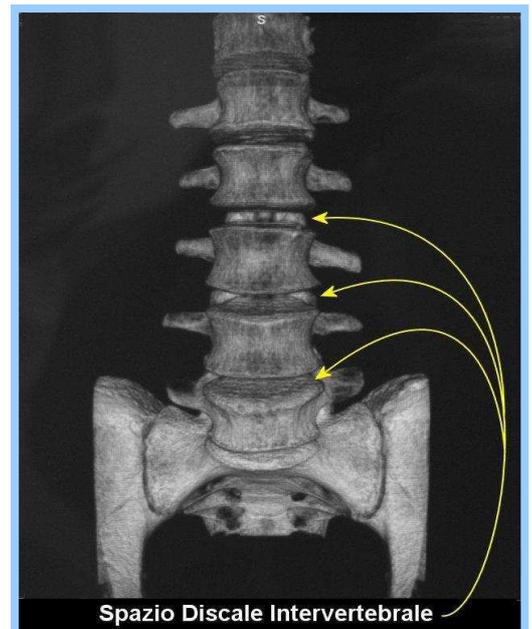
Gli effetti legati a queste tipologie di esposizione possono coinvolgere diversi apparati in funzione della frequenza:



- tra 1 e 5 Hz per stimolazione vestibolare compaiono le reazioni neurovegetative (nausea, sudorazione fredda, vomito);
- tra 6 e 20 Hz compaiono

turbe gastrointestinali (difficoltà digestive),
turbe neuropsichiche (cefalea, irritabilità, vertigini, ecc.),

- turbe visive (nistagmo, riduzione dell'acuità visiva, riduzione della sensibilità alla luce, ecc.) e importanti alterazioni del rachide lombare e toracico con segni radiologici di spondilo-artrosi, e lombosciatalgie si riscontrano di frequente tra i trattoristi, gruisti, camionisti, filotranvieri.



Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio (HAV) Quanto più è elevata la frequenza tanto meno l'effetto lesivo si propaga dal punto di contatto.

La angiopatia da vibrazioni (frequenza > 150 Hz) è caratterizzata dal fenomeno di Raynaud a carico delle dita delle mani, generalmente con esclusione del pollice. Inizialmente sono interessate le falangi distali delle dita ulnari ma, se lo stimolo persiste, dopo mesi o anni si assiste alla compromissione anche delle falangi prossimali e delle altre dita, senza che vengano mai interessati il dorso e il palmo delle mani.

La sintomatologia consiste in un accesso ischemico, caratterizzato da pallore cutaneo a margini netti e irregolari, della durata di alcuni minuti (non oltre i 10), e seguita da iperemia di colore rosso acceso.

Gi accessi vengono generalmente evocati da esposizione a vibrazioni e/o a freddo ma, in caso di esposizione a vibrazioni protratta negli anni, possono comparire anche al di fuori delle esposizioni.

Il fenomeno di Raynaud non si accompagna generalmente a turbe trofiche, mentre possono essere presenti sintomi neurosensoriali (iperestesia, ipoestesia).



Valutazione del rischio

Livello di azione
giornaliero di
esposizione

Livello limite
giornaliero di
esposizione

NON C'E' RISCHIO

MISURE DI PREVENZIONE
E PROTEZIONE

MISURE IMMEDIATE

SORVEGLIANZA
SANITARIA

VIBRAZIONI TRASMESSE AL SISTEMA MANO-BRACCIO

Livello di azione giornaliero di
esposizione $A(8)=2,5 \text{ m/s}^2$

Livello limite giornaliero di esposizione
 $A(8)=5 \text{ m/s}^2$

VIBRAZIONI TRASMESSE AL CORPO INTERO

Livello di azione giornaliero di
esposizione $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$

Livello limite giornaliero di esposizione
 $A(8)=1,0 \text{ m/s}^2$

In caso di superamento dei valori limite, il datore di lavoro deve adottare tutte le "misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto del valore limite di esposizione" inoltre elabori ed applichi un piano di lavoro volto a ridurre al minimo l'esposizione a vibrazioni, considerando in particolare:

- altri metodi di lavoro che richiedano una minore esposizione a vibrazioni meccaniche;
- scelta di attrezzature adeguate concepite nel rispetto dei principi ergonomici e che producano, tenuto conto del lavoro da svolgere, il minor livello possibile di vibrazioni;
- fornitura di attrezzature accessorie per ridurre i rischi di lesioni provocate da vibrazioni, (per esempio sedili che attenuino efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero o maniglie che riducano la vibrazione trasmessa al sistema mano-braccio);
- adeguati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro e dei sistemi sul luogo di lavoro;
- la progettazione e l'assetto dei luoghi e dei posti di lavoro;
- adeguata informazione e formazione per insegnare ai lavoratori ad utilizzare correttamente e in modo sicuro le attrezzature di lavoro, riducendo al minimo l'esposizione a vibrazioni meccaniche;
- la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- orari di lavoro adeguati con appropriati periodi di riposo;
- la fornitura, ai lavoratori esposti, di indumenti di protezione dal freddo e dall'umidità.

Dispositivi di protezione individuali

Tra i dispositivi accessori citati al punto c) rientrano a pieno titolo i guanti certificati "anti-vibrazioni" ai sensi della norma EN ISO 10819 (1996). Pur non presentando generalmente livelli di protezione elevati, i guanti anti-vibrazioni sono comunque utili ai fini di evitare l'effetto di amplificazione della vibrazione trasmessa alla mano, generalmente riscontrabile per i normali guanti da lavoro, e di attenuare ulteriormente i livelli di vibrazione prodotti dagli utensili impiegati. Va inoltre considerato che un altro scopo importante dei guanti è quello di tenere le mani calde ed asciutte, il che può contribuire a limitare alcuni effetti nocivi indotti dalle vibrazioni.

Informazione e formazione

L'articolo 184 del D.Lgs. 81/08 prevede inoltre specifici obblighi di "informazione e formazione per i lavoratori" esposti a rischio vibrazioni e per i loro rappresentanti, in relazione a:

- misure adottate volte a eliminare o ridurre al minimo il rischio vibrazioni;
- livelli d'azione e valori limite;
- risultati delle valutazioni;
- metodi per l'individuazione e segnalazione di sintomi e lesioni;
- circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto alla sorveglianza sanitaria;
- procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo l'esposizione a vibrazioni;
- uso corretto dei DPI e relative controindicazioni sanitarie all'uso.

Sorveglianza sanitaria

I lavoratori esposti a livelli di vibrazioni superiori ai valori d'azione debbono essere sottoposti alla sorveglianza sanitaria. La sorveglianza viene effettuata periodicamente, di norma una volta l'anno o con periodicità diversa decisa dal medico competente con adeguata motivazione riportata nel documento di valutazione dei rischi e resa nota ai rappresentanti per la sicurezza dei lavoratori in funzione della valutazione del rischio.

I lavoratori esposti a vibrazioni sono altresì sottoposti alla sorveglianza sanitaria secondo il medico competente quando l'esposizione dei lavoratori alle vibrazioni è tale da rendere possibile l'individuazione di un nesso tra l'esposizione in questione e una malattia identificabile oppure ad effetti nocivi per la salute, ed è probabile, che la malattia o gli effetti sopraggiungano nelle particolari condizioni di lavoro del lavoratore ed esistano tecniche sperimentate che consentano di individuare la malattia o gli effetti nocivi per la salute.

Materiali e metodi

Utilizzando un accelerometro triassiale, sono state effettuate misure su una smerigliatrice angolare modello Bosch GWS 6-115, di peso pari a 1,4 kg, diametro della mola abrasiva di 115 mm, l'utensile è stato utilizzato in condizioni di lavorazione in modalità taglio, su un profilato di acciaio sagomato ad U delle dimensioni di mm 14x25x14 e spessore di mm 1.

I metodi di montaggio dell'accelerometro sull'impugnatura anteriore della smerigliatrice oggetto delle varie prove di confronto dei dati rilevati, sono stati:

- montaggio con collante;
- fissaggio con fascette in cavo di nylon;
- fissaggio con fascette metalliche;
- fissaggio con nastro biadesivo;
- fissaggio con fascette elastiche.

Strumentazione

La strumentazione utilizzata è la seguente:

- analizzatore multicanale Brüel & Kjær modello 2260;
- condizionatore di segnale Brüel & Kjær tipo 1700 con filtro di ponderazione in ingresso conforme alla norma ISO 5349;
- accelerometro triassiale Ortho – Shear Delta Tron.
- la calibrazione della catena di misura è stata effettuata tramite calibratore Brüel & Kjær mod.4294.

Impostazione del modello

Gli elementi che concorrono a costituire il "sistema" delle misure di vibrazioni sull'uomo sono:

1. la sorgente di vibrazione (S)
2. l'operatore (O)
3. la catena di misura (C)

L'operatore, ovviamente, influisce attraverso:

- la forza di afferraggio sull'impugnatura (X_{aff})
- la forza di lavorazione (dipendente dalla forza necessaria per la lavorazione del particolare tipo di materiale, dall'angolo formato al gomito, dalla struttura fisica dell'operatore, ecc.) (X_{op})

Quindi la misura di accelerazione X_{tot} viene schematicamente rappresentata da una funzione lineare a tre variabili (non indipendenti):

x_1 =variabile MATERIALE DA LAVORARE

x_2 =variabile FORZA AFFERRAGGIO IMPUGNATURA UTENSILE

x_3 =variabile MONTAGGIO ACCELEROMETRO

$$X_{tot} = f(x_1, x_2, x_3)$$

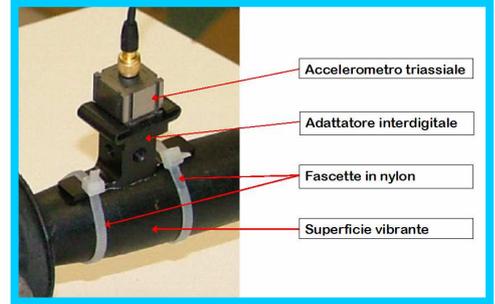
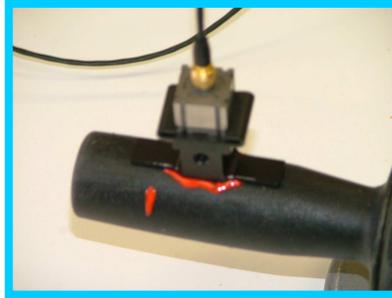
Misure e calcoli

Sono state eseguite una serie di cinque prove consecutive nelle seguenti condizioni:

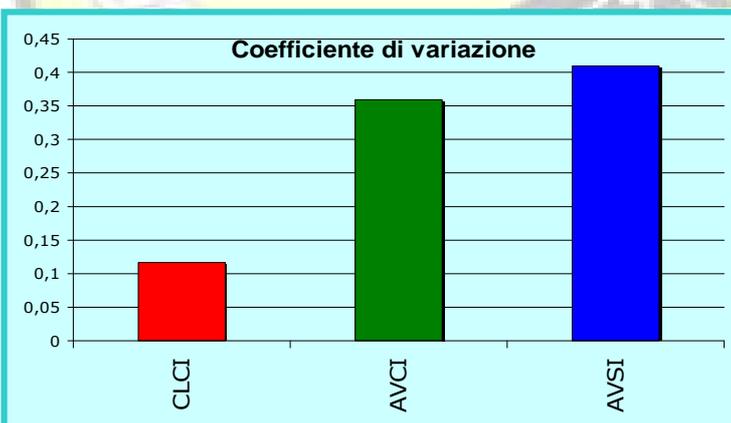
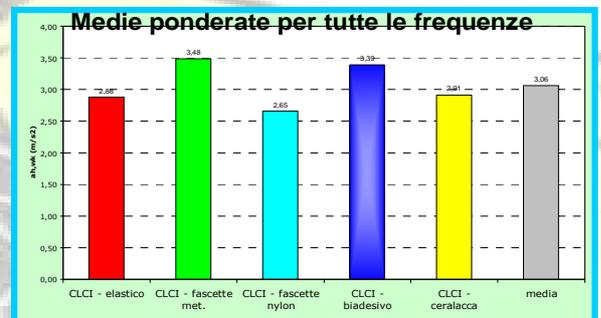
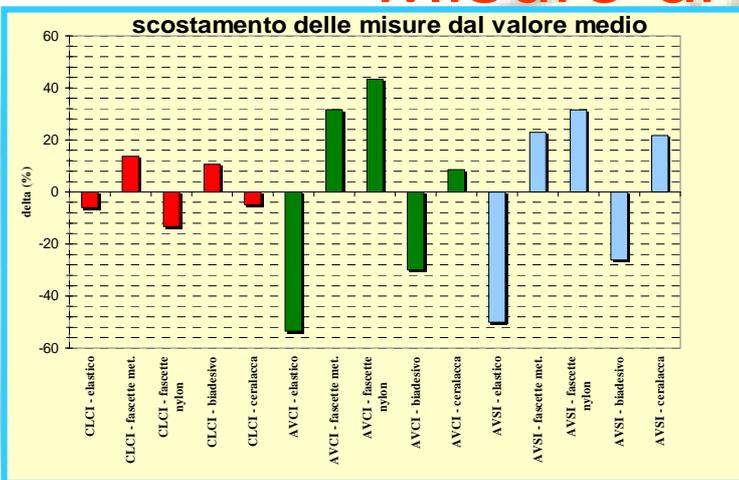
- 1) utensile fatto girare a vuoto senza la mano dell'operatore sull'adattatore interdigitale dell'accelerometro (condizione indicata con AVSI);
- 2) utensile fatto girare a vuoto con la mano dell'operatore sull'adattatore interdigitale dell'accelerometro (condizione indicata con AVCI);
- 3) utensile in fase di lavorazione (condizione indicata con CLCI).

Quindi si può affermare che, qualitativamente, tali condizioni rappresentano le tre variabili del modello cioè: $x_1 \cong CLCI$, $x_2 \cong AVCI$ e $x_3 \cong AVSI$.

Misure di vibrazioni



Misure di vibrazioni



tipologia di fissaggio	$a_{h, wk} (m/s^2)$	delta	delta (%)
CLCI - fascette elastiche	2,88	-0,19	-6,08
CLCI - fascette metalliche	3,48	0,42	13,72
CLCI - fascette nylon	2,65	-0,41	-13,36
CLCI - biadesivo	3,39	0,33	10,63
CLCI - ceramica	2,91	-0,15	-4,91
AVCI - fascette elastiche	1,13	-1,51	-53,50
AVCI - fascette metalliche	3,20	0,56	31,63
AVCI - fascette nylon	3,48	0,85	43,31
AVCI - biadesivo	1,70	-0,93	-29,94
AVCI - ceramica	2,64	0,00	8,50
AVSI - fascette elastiche	1,31	-1,31	-50,05
AVSI - fascette metalliche	3,22	0,60	22,95
AVSI - fascette nylon	3,44	0,82	31,47
AVSI - biadesivo	1,93	-0,68	-26,07
AVSI - ceramica	3,18	0,57	21,70

Valori misurati e scostamento dalla media aritmetica

Conclusioni

La tipologia di montaggio dell'accelerometro influisce sulla riduzione della risposta in frequenza, in quanto rimuovendo il sensore dal suo intimo contatto con il punto di misura e inserendo altri elementi nell'installazione, come basi adesive o adattatori, si introduce una risonanza di montaggio, che risulta ad una frequenza più bassa della risonanza naturale del sensore e ne riduce l'intervallo di frequenza utile. In linea di massima, più il sensore è lontano dal punto di misura, più bassa sarà la risonanza di montaggio e più bassa la frequenza utile.

Questo influisce sul risultato della misura, nel nostro caso con una variazione del 12%, quindi il risultato finale è sensibilmente influenzato da tale fattore, per cui è necessario attribuire alle metodologie di montaggio delle procedure standardizzate in modo da circoscrivere il campo di variabilità.

Nella nostra sperimentazione considerando la risposta in frequenza e la flessibilità operativa di montaggio, aspetto da non sottovalutare quando le misure vengono effettuate in ambienti di lavoro, le risposte migliori si sono avute con il fissaggio tramite fascette in cavo di nylon.

Il D.Lgs. 81/08 prescrive in particolare l'obbligo, da parte dei datori di lavoro, di valutare il rischio da esposizione a vibrazioni dei lavoratori durante il lavoro.

Nel caso dell'impiego di strumenti vibranti, quindi, risulta fondamentale l'eliminazione delle vibrazioni in sede progettuale - costruttiva, inoltre il datore di lavoro, qualora siano uguali o superati i livelli di azione stabiliti dal D.Lgs. 81/08, (mano braccio: $A(8) = 2,5 \text{ m/s}^2$; corpo intero: $0,5 \text{ m/s}^2$) come abbiamo visto precedentemente, è tenuto ad elaborare ed applicare un piano di lavoro volto a ridurre al minimo l'esposizione a vibrazioni.

Il Decreto raccomanda, per quanto possibile, di limitare l'esposizione al minimo indispensabile e per tutti coloro che sono esposti a livelli di vibrazioni superiori ai valori indicati, è prevista nel Decreto la sorveglianza sanitaria da effettuarsi almeno una volta l'anno o con periodicità diversa dietro parere di un medico competente.

Qualora il medico riscontri anomalie in un lavoratore, deve informare il datore di lavoro che, a sua volta, è tenuto a:

- sottoporre a revisione la valutazione dei rischi prevista da questo Decreto;
- rivedere le misure messe in atto per eliminare o ridurre i rischi;
- tenere conto del parere del medico competente nell'attuazione delle misure necessarie per eliminare o ridurre il rischio;
- predisporre una visita medica straordinaria per tutti gli altri lavoratori che abbiano subito un'esposizione simile.

