

PROBLEMATICHE DI VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE LAVORATIVA A RISCHIO DA VIBRAZIONI AL CORPO INTERO (W.B.V.) NELL'ESPERIENZA INAIL CON.T.A.R.P.

P. Panaro (1), G. Stefani (1)

(1) INAIL – Direzione Generale – Consulenza Tecnica Accertamento Rischi e
Prevenzione

1. INTRODUZIONE

L'INAIL, tramite la propria Consulenza Tecnica per l'Accertamento del Rischio e Prevenzione (CON.T.A.R.P.) è particolarmente impegnato, da qualche anno, nella valutazione dell'esposizione lavorativa al rischio da vibrazioni a corpo intero (W.B.V.) per la definizione dei casi di malattie professionali non tabellate imputate a tale tipo di rischio, con l'esigenza specifica di conseguire l'obiettività di valutazione nell'ambito di una sostanziale uniformità di giudizio sul piano nazionale.

Il processo di valutazione si articola nelle seguenti fasi:

- 1) acquisizione delle grandezze fisiche necessarie;
- 2) stima dei tempi di esposizione;
- 3) applicazione dei metodi e dei criteri della normativa vigente;
- 4) commento dei risultati e giudizio finale.

Gli aspetti su cui si è posta particolare attenzione riguardano l'interpretazione e l'applicazione della normativa vigente, con riferimento principale alla ISO 2631 del 1997 [1] e alla Direttiva Europea 2002/44/CE [2], soprattutto per quanto riguarda l'adozione dei limiti d'esposizione e la valutazione dell'eventuale presenza del fenomeno impulsivo.

Il lavoro presenta considerazioni e riflessioni in merito ai suddetti temi, proponendo alcune soluzioni, che pur indirizzate agli obiettivi dell'INAIL, possono trovare utile riscontro presso tutti i soggetti che si occupano di valutazione e prevenzione del rischio.

2. ASPETTI NORMATIVI

E' importante sottolineare i limiti di applicabilità di ogni singola norma: la Direttiva Europea è una norma legislativa di natura prevenzionale, in quanto fissa due soglie, di cui quella inferiore (valore d'azione) fa scattare una serie di iniziative e

provvedimenti (sorveglianza sanitaria, adeguata organizzazione del lavoro, interventi di natura tecnica, ecc.) che prescrivono le condizioni (requisiti minimi) entro cui si previene, o si dovrebbe prevenire, l'insorgenza di effetti sulla salute.

Lo standard tecnico della ISO, che ha carattere volontario, fornisce gli strumenti specifici per la valutazione dell'esposizione: con riferimento alla salute, alla percezione/comfort, e al cosiddetto "mal dei trasporti".

Nel ruolo specifico della CONTARP (la valutazione dell'esposizione per la definizione dei casi di malattia professionale) il riferimento primario non può che essere la normativa ISO 2631. La Direttiva Europea, che peraltro richiama la ISO nella definizione e nel calcolo delle grandezze dell'esposizione, viene comunque utilizzata come riferimento valutativo aggiuntivo.

Gli studi specifici del settore in genere riferiscono i risultati ad entrambi i riferimenti citati.

Autorevoli autori [3; 4; 5] riconoscono che la ISO 2631-1 del 1997 presenta diverse ambiguità e lacune, che determinano difficoltà operative.

Si cercherà, nel seguito, di evidenziare e di circostanziare alcune problematiche, nell'intento di fornire, per quanto possibile, alcune soluzioni nell'ambito delle applicazioni che ci competono.

E' noto che la ISO 2631-1 fornisce un metodo di base per la valutazione dell'esposizione con riferimento agli effetti sulla salute (fig. 1), che prevede il confronto grafico del punto rappresentativo dell'esposizione (avente come ordinata l'accelerazione media ponderata e come ascissa il tempo di esposizione) con due coppie di curve: la coppia di curve **B.1** (inferiore e superiore) che rispetta il criterio dell'equivalenza dell'energia, con esponente della variabile tempo pari a $\frac{1}{2}$:

$$a_{w1} * T_1^{1/2} = a_{w2} * T_2^{1/2} \quad (1)$$

e la coppia di curve **B.2** (inferiore e superiore) che invece deriva dall'applicazione di un diverso criterio di equivalenza, con esponente della variabile tempo pari a $\frac{1}{4}$, più adatto a valutare l'esposizione in caso di contenuto impulsivo:

$$a_{w1} * T_1^{1/4} = a_{w2} * T_2^{1/4} \quad (2)$$

Operativamente, la posizione del punto rappresentativo dell'esposizione, rispetto alla "zona" compresa tra la coppia di curve B.1 o B.2 può ricadere:

- 1) al di sotto della "zona": rischi non documentati;
- 2) all'interno della "zona": rischi potenziali;
- 3) al di sopra della "zona": rischi significativi.

La norma sottolinea che l'applicazione del metodo trova riscontro sperimentale nell'intervallo tra le 4 e le 8 ore, mentre l'estrapolazione all'esterno di tale intervallo richiede maggiore "cautela"; **inoltre afferma che nel predetto intervallo di tempo le "zone" relative alle B.1 e alle B.2 sono pressoché le stesse ("are the same"), evidenziandole graficamente con tratteggio.**

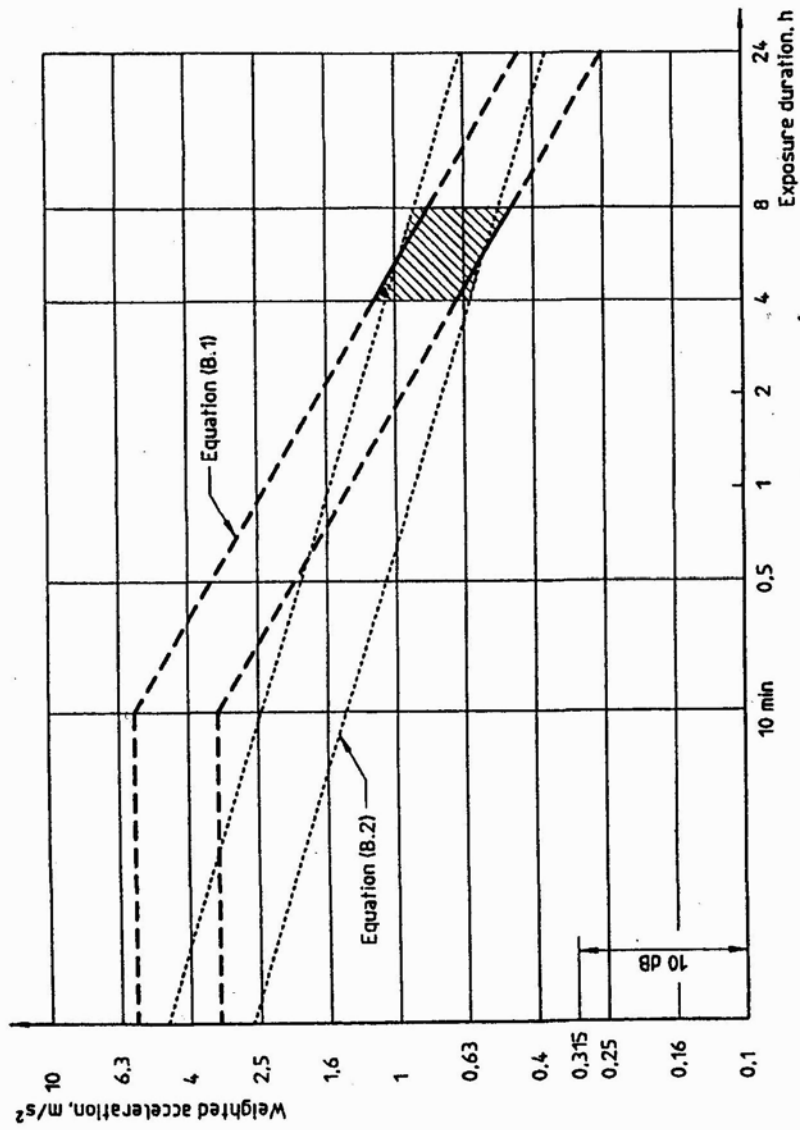


Figure B.1 — Health guidance caution zones

Figura 1

Si tenga presente che le curve **B.1** (iperboli in scala lineare, rette in scala logaritmica), non sono supportate da un'equazione analitica, pertanto la determinazione delle tre condizioni di cui sopra è legata principalmente alla precisione grafica. Le curve **B.2** (iperboli in scala lineare, rette in scala logaritmica) hanno invece espressione analitica determinata, in quanto essa viene implicitamente fornita dai limiti fissati dalla stessa norma per lo "eVDV", che valgono, rispettivamente $8,5 \text{ m/s}^{1,75}$ quello inferiore e $17 \text{ m/s}^{1,75}$ il superiore, come già riconosciuto da alcuni autori [4].

Ci si è posti dunque il problema di valutare le imprecisioni grafiche, al fine di superarle o comunque tenerne conto nell'applicazione.

Si è cercato di determinare, in definitiva, il campo di variabilità dell'espressione analitica della **B.1**, in cui non è noto **k**:

$$a_w * T^{1/2} = k \quad (3)$$

per far ciò si dispone di un elemento analitico "certo", e cioè l'espressione delle **B.2**, e di un elemento grafico che sembra ben determinato: il valore a 24 ore della **B.1**, che sembra valere esattamente $0,25 \text{ m/s}^2$. Non ritenendo corretto confidare nella condizione di passaggio per un punto grafico, si è proceduto imponendo la condizione che l'intersezione della curva **B.1** con la curva **B.2** ricada all'interno dell'intervallo 4-8 ore (fig. 2): ciò che traduce la sostanziale coincidenza delle aree sottese dalle due curve **B.1** e dalle due curve **B.2**.

Sono stati determinati dunque i valori della **B.2** inferiore in corrispondenza di 4 ore e di 8 ore, che risultano essere i seguenti: $B.2(4h)=0.554 \text{ m/s}^2$ e $B.2(8h)=0.466 \text{ m/s}^2$. Prima di procedere, si osserva che il valore $B.2(4h)=0.554 \text{ m/s}^2$ non sembra corrispondere al valore grafico, che si può stimare sulla scala logaritmica intorno a 0.600 m/s^2 : perciò la curva sembra tracciata in maniera imprecisa. Facendo una verifica per $t=0.5h$ si ottiene analiticamente un valore di 0.932 m/s^2 , trovando immediata conferma di quanto supposto, in quanto sul grafico assume valore superiore a 1 m/s^2 : ad una verifica si è riscontrato infatti che la scala logaritmica dei tempi presenta imprecisioni non trascurabili.

In particolare gli intervalli 10min-0,5h e 8h-24h (corrispondenti alla stessa misura in scala logaritmica), sono invece rappresentati sul grafico da segmenti di lunghezza differente di circa il 15% (vd. figura 1).

Imponendo l'intersezione con la **B.2** inferiore, per $T=4h$, si ricava la costante **k**₁:

$$k_1 = 0,554 * (4*3600)^{1/2} = 66,48 \text{ m/s}^{1,5};$$

e quindi l'equazione della **B.1** inferiore diventa:

$$a_w * T^{1/2} = 66,48 \quad (\text{estremo inferiore}) \quad (4)$$

Questa fornisce, per l'accelerazione a 8 ore, il valore $a_w=0.391 \text{ m/s}^2$, e per le 24 ore un'accelerazione $a_w=0.226 \text{ m/s}^2$.

Imponendo l'intersezione con la **B.2** inferiore per $T=8h$ si ricava la costante **k**₂:

$$k_2 = 0,466 * (8*3600)^{1/2} = 79,08 \text{ m/s}^{1,5};$$

e quindi l'equazione della **B.1** inferiore diventa:

$$a_w * T^{1/2} = 79,08 \quad (\text{estremo superiore}) \quad (5)$$

Questa fornisce, per l'accelerazione a 4 ore, il valore $a_w=0,659 \text{ m/s}^2$, e per le 24 ore un'accelerazione $a_w=0,269 \text{ m/s}^2$.

Se si considera la curva avente come costante la media di k_1 e k_2 sopra ricavati, cioè $k_m=72.781 \text{ m/s}^{1.5}$, questa per $T=24\text{h}$ fornisce un valore di $a_w=0.248 \text{ m/s}^2$, molto prossimo al valore "grafico" di $0,250 \text{ m/s}^2$, mentre per $T=4\text{h}$ assume valore $a_w=0.606 \text{ m/s}^2$, inferiore a quello della rappresentazione grafica, che sembra avere dunque pendenza maggiore.

La curva B.1 con $k_m=72.781 \text{ m/s}^{1.5}$ interseca la B.2 inferiore nel punto $T=5,73 \text{ h}$; $a_w=0,506 \text{ m/s}^2$ (per $a_w=0,500 \text{ m/s}^2$ si ha $T=5,88 \text{ h}$).

Tuttavia, data la natura empirica dell'approccio precedente, si è proseguito formalizzando l'equivalenza sancita dalla norma tra le aree delimitate dalle B.1 e dalle B.2: imponendo cioè l'eguaglianza dei rispettivi integrali definiti tra il tempo $T_1=4\text{h}$ e $T_2=8\text{h}$. Da questa condizione, **che minimizza le differenze ottenibili usando la curva B.2 invece che la curva B.1 e viceversa**, si ottiene analiticamente l'equazione B.1 inferiore corrispondente, che risulta:

$$a_w * T^{1/2} = 72,97 \quad (6)$$

molto vicina a quella precedentemente prevista, intersecando la retta B.2 inferiore nel punto $a_w=0,505 \text{ m/s}^2$; $T=5,79 \text{ h}$ (5h 47'). Dai valori che quest'ultima assume in corrispondenza di $T=24\text{h}$ e $T=10\text{min}$ (rispettivamente $a_{w24h}=0,248 \text{ m/s}^2$ e $a_{w10min}=2,979 \text{ m/s}^2$ si può altresì arguire che l'equazione B.1 nel grafico di figura 1, è stata tracciata "correttamente" come retta tra i due punti estremi a 10min e a 24h, ma in una scala logaritmica approssimativa.

Ragionamento identico si conduce per curva **B.1** superiore, che ovviamente avrà costante **K** di valore doppio, pari a $145,95 \text{ m/s}^{1.5}$ (arrotondato alla 2° cifra).

Si ritiene opportuno osservare, a questo punto, che risulta una differenza del 26% tra il tempo di esposizione relativo al valore d'azione della Direttiva Europea $A(8)=0,500 \text{ m/s}^2$ e il tempo di esposizione relativo al valore di $a_w=0,500 \text{ m/s}^2$ sulla curva **B.1** inferiore della ISO 2631 ($T_{0,5}=5,92 \text{ h}$), pertanto appare alquanto problematico identificare il valore d'azione della Direttiva Europea con i "limiti inferiori" della ISO 2631.

Come breve esempio di applicazione si consideri di valutare sul diagramma B.1 il punto (apparentemente non critico) $a_w=0,630 \text{ m/s}^2$; $T=4 \text{ h}$: l'esame grafico decreta che esso è dentro la "zona" rispetto alle B.2 ma è fuori rispetto alle B.1: siamo di fronte a un caso limite. In realtà la stessa analisi, svolta sul piano analitico, consente di riconoscere che il punto cade decisamente sopra la B.2 che a 4 ore vale solo $0,554 \text{ m/s}^2$ (imprecisioni del grafico), ma cade anche sopra la B.1, che nella espressione trovata, a 4 ore vale $0,608 \text{ m/s}^2$.

Le conclusioni analitiche raggiunte, oltre a consentire verifiche più rapide e più "sicure", consentono anche l'implementazione di una semplice procedura automatizzata su calcolatore elettronico.

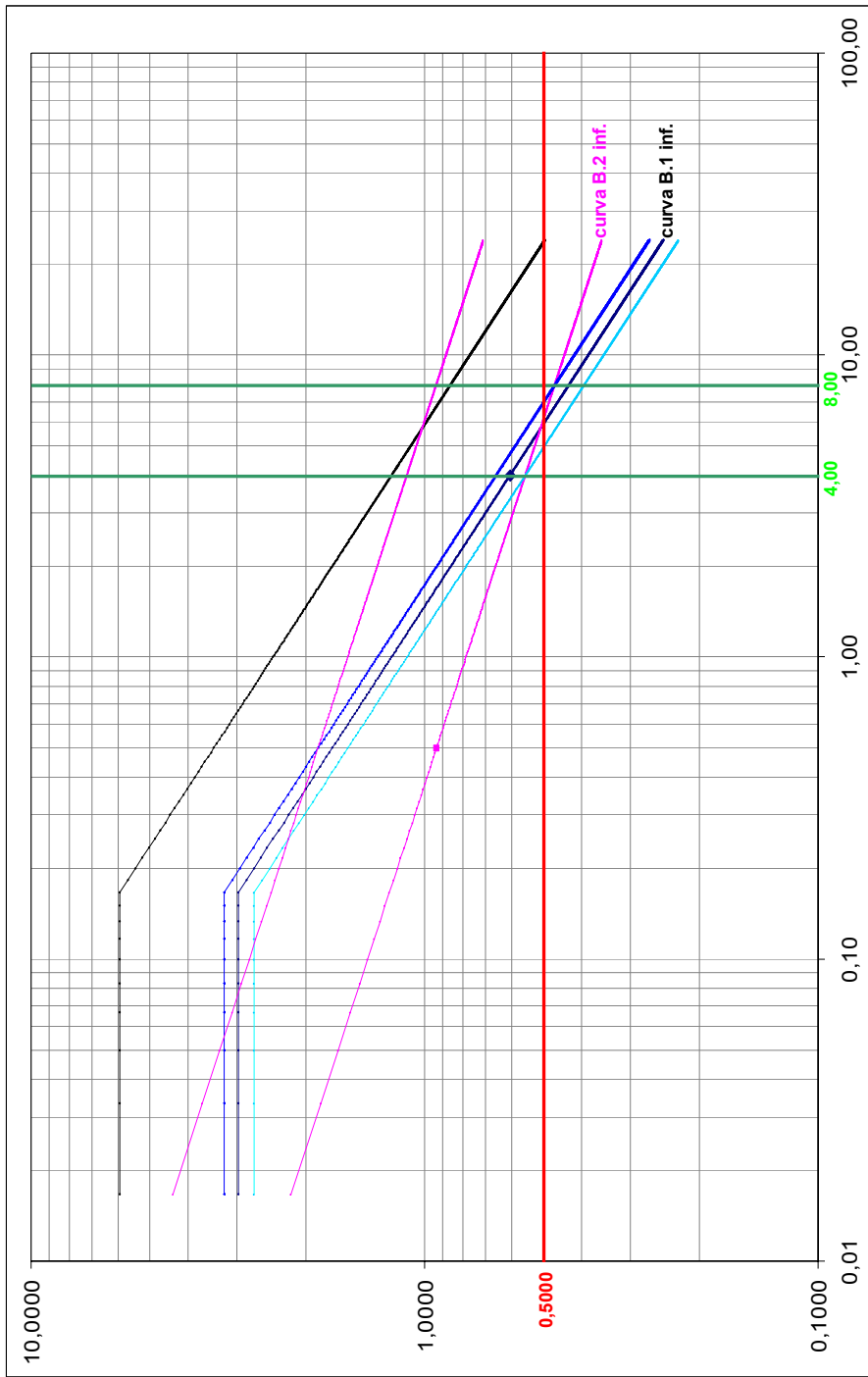


Figura 2

3. VALUTAZIONE DEL FENOMENO IMPULSIVO: METODI ADDIZIONALI

Nelle vibrazioni a corpo intero riveste un'importanza fondamentale l'analisi dei picchi (valori massimi istantanei dell'accelerazione), in quanto questi possono assumere valori istantanei molto elevati ed avere da soli effetti deleteri sulla salute, pur con un'accelerazione media ponderata inferiore ai limiti di normativa [6; 7; 8]. La ISO 2631 prescrive di valutare l'entità del fenomeno attraverso il calcolo preliminare del fattore di cresta, definito come il modulo del rapporto tra il massimo valore di picco istantaneo dell'accelerazione ponderata in frequenza e il suo valore quadratico medio a_w nel tempo T di misura. Qualora esso superi il valore di 9, il metodo base non è più ritenuto sufficiente, e si impone l'uso di uno dei due metodi addizionali proposti: il "running r.m.s. method" che comporta la misura della grandezza MTVV (maximum transient vibration value), e del "fourth power vibration dose method" che richiede la dose di vibrazioni assorbita in un dato tempo di esposizione VDV (Vibration Dose Value), integrando sulla quarta potenza dell'accelerazione.

Il primo metodo addizionale è poco usato, in quanto considera, per l'intera durata della misura, il solo valore massimo dell'accelerazione media ponderata (integrata nell'intervallo di 1 secondo). Dal nostro punto di vista, pur concordando con le critiche mosse al metodo [3; 5], si ritiene che il valore del parametro MTVV possa costituire un'informazione utile alla successiva interpretazione di natura medica, laddove la norma tecnica non esclude la possibilità che al limite anche un solo picco di intensità molto elevata possa provocare danni sulla salute.

Considerando dunque il metodo del VDV, ne va determinato innanzitutto strumentalmente il valore, dopo di che verrà verificata la seguente disuguaglianza:

$$\text{VDV} / a_w T^{1/4} > 1,75 \quad (7)$$

Qualora questa sia verificata, si trova conferma che il fenomeno impulsivo necessita di specifica considerazione attraverso i metodi addizionali: la ISO 2631 però non fornisce altre indicazioni, non consentendo di svolgere con questi ultimi una valutazione analoga a quella del metodo base.

La condizione (7) traduce il fatto che gli impulsi, oltre a presentare livelli relativamente elevati, manifestino una significativa ripetitività.

Si pone anche in evidenza che la ISO 2631 definisce una stima del valore di dose di vibrazioni (eVDV) così definito:

$$e\text{VDV} = 1,4 a_w T^{1/4} \quad (8)$$

In coerenza con quanto detto in precedenza, ricordando la definizione delle curve B.2, i limiti posti per lo eVDV, rispettivamente inferiore pari a $8,5 \text{ m/s}^{1,75}$ e superiore pari a $17 \text{ m/s}^{1,75}$, corrispondono proprio alle curve B.2.

4. IL CRITERIO DEL VDV NELLA DIRETTIVA EUROPEA

La Direttiva Europea 2002/44/CE fornisce un valore di azione ($9,1 \text{ m/s}^{1,75}$) e un valore limite ($21 \text{ m/s}^{1,75}$) per il VDV, in analogia con i corrispondenti valori fissati per l'accelerazione, proponendo la valutazione del VDV come libera alternativa alla valutazione dell'accelerazione media ponderata.

Detti valori sono stati calcolati dai precedenti valori forniti per l'accelerazione, attraverso la definizione dello eVDV (eq.8) della ISO 2631 (sono cioè concettualmente analoghi ai limiti $8,5 \text{ m/s}^{1,75}$ e $17 \text{ m/s}^{1,75}$ forniti dalla ISO 2631 per lo eVDV): in pratica la Direttiva Europea riproduce il metodo base della 2631, come da figura 3 (curve B1 e curve B.2 traslate verso l'alto, ma intersecantesi per $T=8 \text{ h}$), e applica impropriamente le curve B.2 al VDV, che però è la dose "reale" misurata sul tempo di esposizione, e non una sua stima (eVDV).

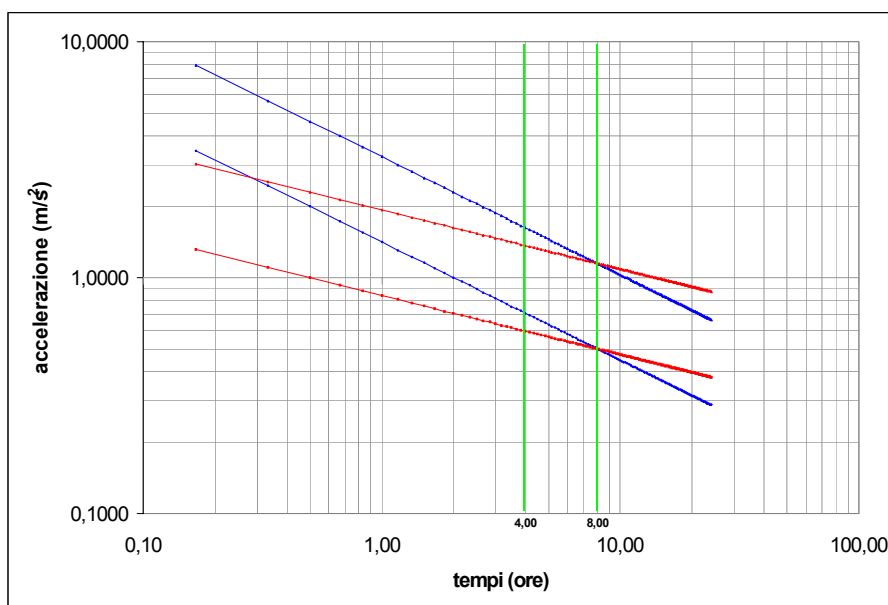


Figura 3

I parametri di valutazione della Direttiva Europea in termini di accelerazione e in termini di VDV vengono proposti dalla medesima come alternativi tra di loro.

Definito il rapporto R del VDV con la quantità $a_w T^{1/4}$:

$$R = \text{VDV} / a_w * T^{1/4} \quad (9)$$

si può illustrare il "funzionamento" dei due differenti criteri attraverso la tabella 1, in cui vengono ricavati i valori del VDV in funzione del valore d'azione dell'accelerazione relativo a tempi di esposizione T compresi tra 4 e 8 ore, nell'ipotesi di valore prefissato di R .

I rapporti R che vengono presi in considerazione sono quelli “notevoli”:

R=1: corrispondente alla condizione di accelerazione costante;

R=1,4: corrispondente a VDV uguale alla sua stima eVDV;

R=1,75: corrispondente al limite per cui la ISO 2631 prescrive i metodi aggiuntivi.

| tempo di esposizione | rapporto R | curva B.1 inf. | curva B.1 sup. | VALORI D'AZIONE | VDV (val. az.) ricavato | VDV (B.1 inf.) ricavato | VDV (B.1 sup.) ricavato |
|----------------------|------------|------------------|------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ore | adimens. | m/s ² | m/s ² | m/s ² | m/s ^{1,75} | m/s ^{1,75} | m/s ^{1,75} |
| 4 | 1 | 0,61 | 1,21 | 0,71 | 7,75 | 6,64 | 13,29 |
| 5 | | 0,54 | 1,09 | 0,63 | 7,33 | 6,28 | 12,57 |
| 6 | | 0,50 | 0,99 | 0,58 | 7,00 | 6,00 | 12,01 |
| 7 | | 0,46 | 0,92 | 0,53 | 6,73 | 5,78 | 11,55 |
| 8 | | 0,43 | 0,86 | 0,50 | 6,51 | 5,59 | 11,17 |
| 4 | 1,4 | 0,61 | 1,21 | 0,71 | 10,84 | 9,30 | 18,60 |
| 5 | | 0,54 | 1,09 | 0,63 | 10,26 | 8,80 | 17,59 |
| 6 | | 0,50 | 0,99 | 0,58 | 9,80 | 8,40 | 16,81 |
| 7 | | 0,46 | 0,92 | 0,53 | 9,43 | 8,09 | 16,18 |
| 8 | | 0,43 | 0,86 | 0,50 | 9,12 | 7,82 | 15,64 |
| 4 | 1,75 | 0,61 | 1,21 | 0,71 | 13,56 | 11,63 | 23,25 |
| 5 | | 0,54 | 1,09 | 0,63 | 12,82 | 11,00 | 21,99 |
| 6 | | 0,50 | 0,99 | 0,58 | 12,25 | 10,51 | 21,01 |
| 7 | | 0,46 | 0,92 | 0,53 | 11,79 | 10,11 | 20,22 |
| 8 | | 0,43 | 0,86 | 0,50 | 11,40 | 9,78 | 19,55 |

Tabella 1

Come prevedibile dai presupposti, nel caso di rapporto uguale a 1 (totale assenza di fenomeno impulsivo) il criterio dei valori di accelerazione sovrastima il fenomeno rispetto ai valori del VDV; nel caso di rapporto pari a 1,75 (limite per cui la ISO 2631 prescrive i metodi aggiuntivi) è invece il criterio dei valori del VDV a sovrastimare rispetto al metodo dell'accelerazione; nel caso invece di rapporto pari a 1,4 (VDV uguale alla stima eVDV) ai valori di accelerazione sulla curva B.1 inf. di fig. 3, corrispondono valori del VDV sulla curva B.2 inf. di figura 3: c'è quindi una sostanziale equivalenza tra i due criteri, che però si bilanciano esattamente in corrispondenza delle 8 ore di esposizione [9]. Dato che i tempi di esposizione giornalieri effettivi sono solitamente inferiori alle 8 ore, risulta che in definitiva, il metodo del VDV sovrastima anche nell'ipotesi di R=1,4.

Identiche considerazioni possono svolgersi per i valori limite.

Il comportamento descritto dei due criteri proposti dalla Direttiva smentisce però il fatto che gli stessi siano intercambiabili “a scelta”.

5. IL CRITERIO DEL VDV DELLA DIRETTIVA EUROPEA RISPETTO ALLA ISO 2631

Nel confronto con i criteri della ISO 2631, onde verificare la possibilità di un utilizzo congiunto, si nota innanzitutto, nella corrispondenza tra valore d'azione e curva B.1 inferiore e tra valore limite e curva B.1 superiore, lo spostamento “in alto”

dei valori della Direttiva, in quanto alla A(8) pari a $0,43 \text{ m/s}^2$ della ISO 2631 corrisponde una A(8) d'azione pari a $0,5 \text{ m/s}^2$ della Direttiva (incremento del 16,5%), ed alla A(8) pari a $0,86 \text{ m/s}^2$ della ISO 2631 corrisponde una A(8) limite pari a $1,15 \text{ m/s}^2$ (incremento del 34%), il che si traduce in uno scarto con i tempi di esposizione forniti dalla ISO di ben 2 ore in meno (25%) rispetto al valore d'azione, e di ben 3,15 ore in meno (39,37%) rispetto al valore limite.

Con questa premessa, si valutano i risultati forniti dal criterio del VDV della Direttiva Europea in relazione alla ISO 2631.

Nella stessa tabella 1 sono riportati i valori del VDV ottenuti per tempi di esposizione compresi tra le 4 e le 8 ore e per i corrispondenti valori di accelerazione sulle curve B.1 inferiore e superiore della ISO 2631 (principio di equivalenza con la radice quadrata del tempo), nelle ipotesi che il già definito rapporto R valga: 1; 1,4 e 1,75.

Nell'ipotesi $R=1,75$ si può osservare che il valore d'azione $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$ della Direttiva Europea viene sempre superato, pertanto i valori di accelerazione per cui si eguaglia il valore d'azione del VDV sono localizzati al di sotto della curva B.1 inferiore, il che denota compatibilità con la ISO 2631, in quanto attesta il fatto che pur non superando la curva B.1 inferiore (in termini di accelerazione), in caso di fenomeno impulsivo consistente, può aversi superamento del valore d'azione del VDV.

Altrettanto purtroppo non si verifica per il valore limite del VDV: per valori di accelerazione sulla curva B.1 superiore infatti, i valori ottenuti per il VDV ricadono a ridosso del valore limite 21: in questo caso l'aver "rialzato" in misura maggiore i valori dell'accelerazione (valore limite di $A(8)=1,15 \text{ m/s}^2$ rispetto alla curva B.1 superiore della ISO 2631 pari a $0,86 \text{ m/s}^2$) si traduce nel fatto che, pur avendo fenomeno impulsivo "considerevole", il valore limite del VDV viene superato solo allorquando si superano anche con l'accelerazione i valori della curva B.1 superiore.

Pare di poter concludere quindi che, mentre è coerente assumere il valore d'azione quale "completamento" della valutazione secondo i metodi addizionali della ISO 2631 (che nella stessa norma resta incompleta), per quanto evidenziato, non lo è invece per il valore limite.

Si osserva che, qualora fosse stato assunto come valore limite del VDV il valore $18,2 \text{ m/s}^{1,75}$ (calcolato in corrispondenza di $A(8)=1 \text{ m/s}^2$, anziché $A(8)=1,15 \text{ m/s}^2$), il valore limite avrebbe avuto analogo comportamento.

Nei casi in cui $R=1$ o $R=1,4$ corrispondenti rispettivamente a fenomeno impulsivo assente o coincidente allo eVDV secondo la ISO 2631, per superare il valore d'azione ed il valore limite del VDV, le accelerazioni devono aver già superato rispettivamente la curva B.1 inferiore e la curva B.1 superiore, ma ciò è accettabile in quanto non contraddice i contenuti della ISO.

A supporto di quanto esaminato, si mostrano in tabella 2 alcuni casi reali incontrati nella pratica professionale: le osservazioni seguenti presuppongono che il tempo di misura utilizzato sia rappresentativo dell'intero tempo di esposizione giornaliero,

posto a 8 ore. Il valore del VDV è quello di misura, riportato al tempo di esposizione giornaliero.

| TIPO MACCHINA | | tempo di esposizione ore | a_{wx} m/s ² | a_{wy} m/s ² | a_{wz} m/s ² | $a_{max\ ist.}$ m/s ² | fattore di cresta adimens. | VDV/ $a_w T^{1,4}$ adimens. | VDV m/s ^{1,75} |
|---------------|---|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | Trattore gommato Lamborghini 675 con erpice | 8 | | | 0,79 | 5,80 | 7,35 | 1,50 | 15,44 |
| 2 | Trattore gommato Lamborghini 675 con rimorchio | 8 | | | 0,96 | 5,45 | 5,70 | 1,44 | 18,21 |
| 3 | Trattore gommato Ford 3000 | 8 | | | 1,02 | 7,86 | 7,70 | 1,37 | 18,24 |
| 4 | Autocarro Iveco Magirus 410-E42H - 40 T con cassone ribaltabile | 8 | | | 0,39 | 3,99 | 10,15 | 1,78 | 9,12 |
| 5 | Autoarticolato Fiat Iveco mod. Stralis 120-E24 | 8 | | | 0,40 | 2,41 | 6,07 | 1,37 | 7,09 |
| 6 | Pala meccanica gommata Case 621 con benna | 8 | | 0,41 | | 3,74 | 9,14 | 1,79 | 9,57 |
| 7 | Pala meccanica gommata Case 621 con forche | 8 | 0,31 | | | 2,22 | 7,23 | 1,58 | 6,35 |
| 8 | Pala meccanica gommata Case 621 con forche | 8 | | | 0,21 | 3,56 | 12,15 | 1,99 | 7,63 |
| 9 | Pala gommata Caterpillar T12 con forche | 8 | 0,37 | | | 2,00 | 5,39 | 1,47 | 7,15 |
| 10 | Pala gommata Caterpillar T12 con forche | 8 | | | 0,38 | 2,06 | 5,47 | 1,50 | 7,35 |
| 11 | Pala gommata Caterpillar T12 con benna | 8 | 0,40 | | | 3,58 | 8,90 | 1,61 | 8,43 |
| 12 | Pala gommata Caterpillar T12 con benna | 8 | | | 0,39 | 2,29 | 5,88 | 1,50 | 7,60 |

Tabella 2 (dati rilevati unitamente a INAIL CON.T.A.R.P. Trentino e Bolzano)

Si può rilevare che nei casi 1,2 e 3, l'accelerazione media ponderata (asse z) ricade all'interno della zona dei rischi potenziali (ISO 2631) o al di sopra di essa (rischi significativi); il VDV supera il valore d'azione della Direttiva Europea, tuttavia, non superando né il fattore di cresta (<9), né il rapporto R ($<1,75$), non è richiesto l'uso dei metodi addizionali, e il superamento del valore d'azione del VDV, dovuto in questo caso all'elevato valore dell'accelerazione, non costituisce ulteriore informazione utile alla valutazione del rischio.

I casi 4 e 6 sono particolarmente importanti: l'accelerazione media ponderata (rispettivamente asse z e asse y) cade al di sotto della "zona" (rischi non documentati), ma vengono superati sia il fattore di cresta (>9) che il rapporto R ($>1,75$); il superamento del valore d'azione del VDV completando la valutazione, attesta la presenza di rischio imputabile al solo fenomeno impulsivo.

Nel caso 8 invece, a fronte di un'accelerazione che, analogamente ai due casi precedenti, cade al di sotto della "zona", ma supera tanto il fattore di cresta (>9) quanto il rapporto R ($>1,75$), il valore d'azione del VDV non viene superato, e pertanto si conclude che neanche il fenomeno impulsivo dà luogo a rischio.

Nei restanti casi si trova che tanto l'accelerazione media ponderata quanto il fenomeno impulsivo non danno luogo a rischio, non essendo superati nemmeno fattore di cresta e rapporto R.

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Una valutazione del rischio da WBV, nell'ottica della CONTARP, alla luce di quanto detto, va dunque condotta (innanzitutto attraverso una stima dettagliata del tempo di esposizione giornaliero) seguendo i dettami della norma ISO 2631. Superate le difficoltà grafiche del metodo base, e chiarito che il valore d'azione $A(8)=0,5 \text{ m/s}^2$ della Direttiva Europea corrisponde nella ISO 2631 a 6 ore di esposizione, ed il valore limite $A(8)=1,15 \text{ m/s}^2$ della Direttiva Europea corrisponde nella ISO 2631 a 4,45 ore di esposizione, si effettua la valutazione della sola accelerazione media ponderata (non viene considerata, in questa fase la dose di vibrazioni VDV, pur includendo il principio di equivalenza con la radice quarta del tempo nella considerazione delle curve B.2 e dello eVDV) rispetto ai limiti della norma ISO, ben diversi da quelli fissati dalla Direttiva Europea.

L'analisi del fenomeno impulsivo verrà altresì impostata sui principi della ISO 2631, valutando innanzitutto il fattore di cresta ed il rapporto R o R_1 rispettivamente tra il VDV e la quantità $a_w T^{1/4}$ e tra il MTVV (Maximum Time Vibration Value) e la a_w . Nei casi in cui sia necessario ricorrere ai metodi addizionali, la valutazione del valore del VDV, mancante nella ISO 2631, può essere condotta riferendosi al valore d'azione pari a $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$ fornito dalla Direttiva Europea.

Con il presente lavoro, si è cercato di dare una risposta esaustiva al modo di affrontare la valutazione dell'esposizione a rischio da vibrazioni a corpo intero, soprattutto per quanto riguarda il rischio "assicurativo" dove la CONTARP è chiamata sempre più spesso a pronunciarsi.

Per far ciò si è cercato di fornire gli strumenti adeguati affinché si potessero superare le incertezze e perplessità insite nelle stesse normative come peraltro riconosciuto dai più autorevoli studiosi della materia.

In particolar modo si sono "riposizionate" correttamente le curve riportate nell'allegato B della 2631, fornendone per un immediata e facile applicazione anche l'espressione analitica.

Dalla Direttiva Europea di prossimo recepimento (di cui si ribadisce la valenza preventiva), è emerso palesemente come i due metodi proposti per la valutazione del rischio non siano affatto "alternativi" e quindi non possano essere presi a "scelta" dagli Stati Membri.

In particolar modo il metodo della $A(8)$ nella maggior parte dei casi e soprattutto quelli caratterizzati da "bassi" valori dell'accelerazione media ponderata, ma da una discreta presenza del fenomeno impulsivo, non fornisce risultati paragonabili con il metodo del VDV, il quale si coniuga soddisfacentemente con la 2631 (soprattutto per il valore d'azione) in tutto il campo di variabilità del fenomeno (accelerazione ponderata - tempo d'esposizione) riuscendo persino ad "integrarla" per l'analisi impulsiva dell'evento vibratorio.

E' auspicabile pertanto che prima dell'adozione definitiva gli Stati Membri facciano le scelte più oculate al fine di evitare in futuro nuove ed inutili confusioni in una materia così importante e complessa .

BIBLIOGRAFIA

- [1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 2631-1 Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements, 1997, Switzerland.
- [2] Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 Giugno 2002 sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (vibrazioni), GUCE L. 177 del 06/07/2002.
- [3] A. PERETTI: Vibrazioni trasmesse all'uomo, Atti del Convegno Nazionale "Le nuove direttive riguardanti l'esposizione a vibrazione e a rumore", 2003, Modena.
- [4] I. PINTO: Rassegna dei diversi criteri valutativi dell'esposizione professionale a vibrazioni. Parte II – Vibrazioni trasmesse al corpo, Atti dBA 1998, Modena.
- [5] R. SPAGNOLO (a cura di): Manuale di Acustica, UTET, 2001, Torino.
- [6] A. PERETTI, M. POLETTI, G. VECCHI: Vibrazioni sulle locomotive dell'ACT di Reggio Emilia, Atti del XIX Convegno Nazionale AIA, 1991, Napoli.
- [7] E. JOHANNING, S. FISHER, E. CHRIST, B. GÖRES, P. LANDSBERGIS: Whole Body Vibration Exposure Study in U.S. Railroad Locomotives – An Ergonomic Risk Assessment, AIHA Journal (63), July-August 2002, American Industrial Hygiene Association, U.S.A..
- [8] A. P. CANN, A. W. SALMONI, P. VI, T. R. EGER: An Exploratory Study of Whole-Body Vibration Exposure and Dose While Operating Heavy Equipment in the Construction Industry, Applied Occupational and Environmental Hygiene, 18, 2003.
- [9] P. DE SANTIS, R. NITTI, G. ROSCI: Il rischio da vibrazioni al corpo intero: dubbi interpretativi ed aspetti irrisolti alla luce della Direttiva 2002/44/CE, Atti del 3° seminario di aggiornamento dei professionisti CON.T.A.R.P., 2004, Napoli.