

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA



SCUOLA DI SCIENZE MEDICHE E FARMACEUTICHE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO IN
MEDICINA E CHIRURGIA

TESI DI LAUREA

*Monitoraggio dei livelli di vibrazioni durante
l'elitransporto del neonato critico: uso di una
App su smartphone*

Relatore

Prof. Carlo Bellini

Candidato

Giovanni Traversa

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

Indice

1. INTRODUZIONE	3
1.1. Il trasporto dei neonati a rischio	3
1.2. Fattori di stress nel trasporto neonatale in elicottero: le vibrazioni.....	6
1.3. Vibrazioni e loro misura	7
1.3.1. La risonanza.....	11
1.3.2. Gli accelerometri	13
1.3.3. Gli accelerometri negli smartphone.....	15
1.4. Effetti delle vibrazioni sull'uomo (adulto).....	17
1.4.1. Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.....	24
1.4.2. Vibrazioni trasmesse al corpo intero	25
1.4.3. Descrittori di esposizione e valori soglia.....	28
1.5. Effetti delle vibrazioni sul neonato	31
1.5.1. Shaken baby syndrome	36
2. SCOPO DELLO STUDIO.....	38
3. MATERIALI E METODI	39
3.1. L'elicottero	39
3.2. L'incubatrice.....	40
3.3. Lo smartphone e l'App	41
3.4. Lo studio	47
4. RISULTATI.....	48
5. DISCUSSIONE	53
6. CONCLUSIONI e PROSPETTIVE	54
7. Bibliografia	56

1. INTRODUZIONE

1.1. Il trasporto dei neonati a rischio

I neonati a rischio che necessitano di essere trasportati rapidamente, dalla struttura di primo soccorso, in una Unità di terapia intensiva neonatale o comunque in una struttura ospedaliera dedicata vengono gestiti, in Italia, dal Servizio di Trasporto in Emergenza del Neonato (STEN).

Questo servizio nasce per le emergenze neonatali non prevedibili e prevenibili per il trasferimento di neonati entro i 30 giorni di età, è diffuso in tutta Italia con ampia eterogeneità regionale (Bellini, 2018¹; Gente, 2019²) ed è organizzato secondo le linee di indirizzo formulate dal Ministero della Salute³.

In Liguria ALISA (Azienda Ligure Sanitaria) ha pubblicato le direttive⁴ con cui affida all'IRCSS G. Gaslini di Genova la gestione dello STEN. Il trasferimento si ritiene ammissibile ogni qualvolta le condizioni cliniche del neonato non siano compatibili con il livello di cura erogato dalla struttura ospitante il paziente stesso:

- Neonati con grave patologia respiratoria, che necessitano di assistenza respiratoria intensiva (ventilazione meccanica, Nasal CPAP)

- Neonati con basso peso alla nascita (<1500 g) e/o età gestazionale <32 settimane (la nascita di questi neonati in Centri Ostetrici di I livello dovrebbe rappresentare una eccezione)
- Neonati con patologia chirurgica con necessità di cure intensive
- Neonati con evidente compromissione delle funzioni vitali e che richiedono interventi diagnostici e terapeutici invasivi e/o particolarmente complessi.

Lo STEN rappresenta la cerniera di collegamento tra punto nascita periferico e centro di riferimento di II livello, e risponde pertanto ad alcune necessità⁵:

- deve provvedere ad un rapido, efficace e sicuro trasporto dei neonati che hanno bisogno di un livello assistenziale superiore a quello offerto dall'ospedale di nascita;
- deve essere espletato da personale con provata esperienza di Terapia Intensiva Neonatale.

Lo STEN Liguria è stato istituito nel 1995 a carico dell'Unità Operativa di Patologia Neonatale dell'Istituto Giannina Gaslini⁶ ed ha iniziato la propria attività il 1 febbraio 1995. Il personale preposto allo STEN è costituito da un Neonatologo e da una Infermiera Pediatrico-Neonatale operanti presso l'U.O. di Patologia Neonatale del Gaslini di Genova, nonché da un autista della Pubblica Assistenza della Croce Verde di Genova Quinto. Se il trasporto è effettuato mediante elicottero l'equipaggio è fornito dal Corpo dei Vigili del Fuoco, Nucleo Elicotteristi di Genova, e consiste in due Piloti e un Assistente di volo.

Se il trasporto è effettuato mediante aeroplano l'equipaggio è fornito dal personale della Aeronautica Militare Italiana.

A tutt'oggi sono stati effettuati più di 5500 trasporti di neonati critici, per la maggior parte entro il territorio ligure; fin dalla sua istituzione, lo STEN ha esteso la propria attività su tutto il territorio italiano, ed anche europeo ed extraeuropeo, in tali casi sotto l'egida e su chiamata della Farnesina.

Riguardo alla modalità del trasporto (terrestre o aerea)⁷, l'intervento dell'elicottero in sostituzione di altri mezzi di emergenza deve realizzarsi unicamente in funzione dell'estrema urgenza (legata alle condizioni sanitarie e/o ambientali) per cui deve essere portato il primo soccorso alla persona e della rapidità del trasporto, ai fini della tutela delle funzioni vitali.

L'elicottero non viene di norma preso in considerazione per percorrenze inferiori ai 100 Km. In questi casi, il tempo di trasporto via terra è concorrenziale con il mezzo aereo, dato che si deve tener conto dei tempi necessari per: l'attivazione e l'arrivo del velivolo, la presa in carico del paziente da parte dell'equipaggio sanitario, il trasferimento dall'ospedale alla elisuperficie di partenza, l'imbarco del paziente, il volo verso l'elisuperficie del centro di riferimento, lo sbarco del paziente, il trasferimento all'ospedale di destinazione.

In elicottero⁸ le condizioni del neonato devono essere ben stabilizzate prima della partenza considerando l'estrema difficoltà pratica ad eseguire manovre di rianimazione durante il volo a causa delle piccole

dimensioni dell'abitacolo, delle forti vibrazioni, dei rumori, dell'obbligo di mantenere posture di sicurezza con cinture allacciate, ecc. L'elicottero in genere può volare solamente di giorno e con buone condizioni meteorologiche, non ha accesso diretto alla maggior parte dei centri sia trasferenti che riceventi (le plance di atterraggio e decollo sono difficilmente vicine alle sale parto o ai centri di Terapia Intensiva Neonatale), ha una temperatura di cabina piuttosto bassa.

È importante considerare che le modalità di trasporto in emergenza, sia esso effettuato per via terrestre o aerea, non sono mai confortevoli per il paziente il quale, nella fattispecie, è un soggetto particolarmente vulnerabile⁹.

1.2. Fattori di stress nel trasporto neonatale in elicottero: le vibrazioni

Il trasporto neonatale in elicottero è sicuramente un evento piuttosto atipico. Esso consiste infatti in un trasporto di emergenza, effettuato nel minor tempo possibile, per un paziente certamente vulnerabile e a rischio vita, su un mezzo insolito con tutta una serie di sue peculiarità.

Numerosi sono i fattori che possono impattare sul benessere psicofisico del neonato, proprio perché l'ambiente in cui questo trasporto emergenziale si svolge presenta caratteristiche proprie. I fattori di stress

che possono essere individuati sono in primo luogo certamente la temperatura, la luce, il rumore e le vibrazioni.

Relativamente alle vibrazioni, e all'effetto che esse possono avere sul neonato, gli studi sono ancora largamente inconclusivi, e i metodi per monitorarle ed attenuarle sono ancora in molti casi acerbi.

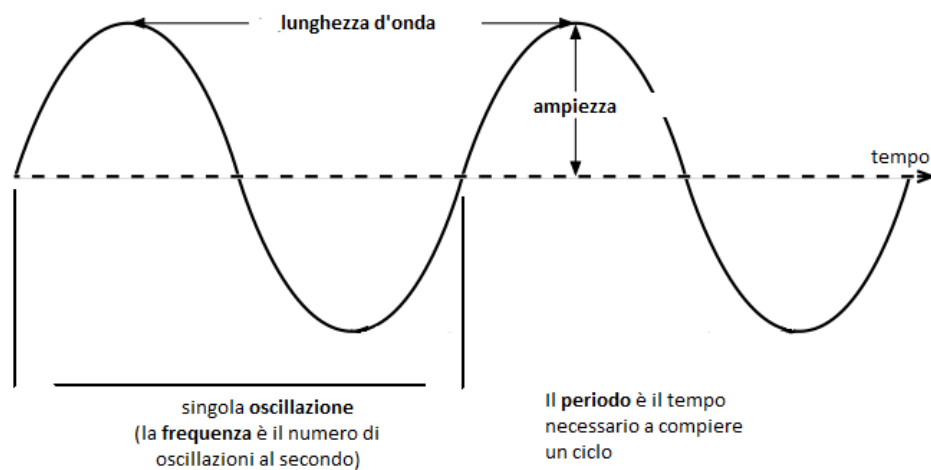
1.3. Vibrazioni e loro misura

Le vibrazioni¹⁰ sono oscillazioni meccaniche rispetto ad un punto di riferimento, determinate da onde di pressione che si trasmettono generalmente attraverso corpi solidi; le oscillazioni caratteristiche delle vibrazioni possono essere libere o forzate, ossia influenzate da una forza esterna come nel caso dell'utilizzo di strumenti vibranti.

I parametri di questo moto oscillatorio (ampiezza, valore medio, etc.) non sono in generale costanti nel tempo. La natura di una vibrazione può essere prevedibile a partire dalla conoscenza di precedenti ricorrenze (il fenomeno è in tal caso deterministico) o può essere caratterizzata dall'aver solamente alcune proprietà che seguono leggi statistiche (si parla in tal caso di moto stocastico o di vibrazioni random).

Il termine vibrazione si riferisce in particolare ad una oscillazione meccanica, attorno ad un punto d'equilibrio, potendosi distinguere i seguenti parametri (Figura):

- frequenza (ν): numero di cicli completi nell'unità di tempo, la cui unità misura internazionale è l'Hertz (Hz);
- periodo (T): intervallo di tempo necessario per completare un ciclo (reciproco della frequenza), misurato in secondi (s);
- lunghezza d'onda (λ): spazio percorso dall'onda in un periodo, che si misura in metri (m);
- ampiezza (A): ampiezza dell'onda, anch'essa misurata in metri (m).



Le vibrazioni sono inoltre caratterizzate dall'entità dello spostamento e delle sue derivate prima e seconda rispetto al tempo, velocità e accelerazione.

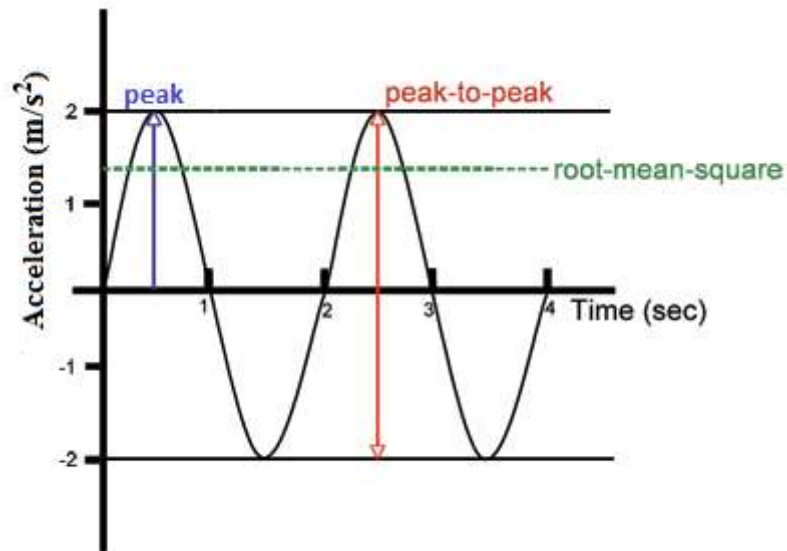
L'accelerazione a si misura in m/s^2 . Le norme ISO che regolamentano la misura dell'esposizione a vibrazioni del corpo umano

(ISO 2631-1:1997 – *Evaluation of human exposure to whole body vibration*) o al sistema mano-braccio (UNI EN ISO 5349-1 – *Vibrazioni meccaniche - Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano*) indicano la misura dell'accelerazione come grandezza di riferimento per stimare la vibrazione, rispettivamente nel range 0.5-80 Hz nel caso del corpo intero (ad esclusione degli effetti legati al “mal di mare”) e nel range 8-1000 Hz per il sistema mano-braccio. In tutti i campi in cui la misura delle vibrazioni è effettuata in relazione agli effetti sul corpo umano la grandezza misurata è sempre l'accelerazione. La stima degli effetti delle vibrazioni sull'integrità strutturale degli edifici¹¹, ad esempio, si basa invece sulla misura della velocità nell'intervallo di frequenza 1-250 Hz.

L'analisi di un segnale di vibrazione espresso in termini di accelerazione nel dominio del tempo viene condotta calcolando diversi parametri di sintesi, che ne consentono la quantificazione del livello da confrontarsi con i livelli di riferimento eventualmente normati.

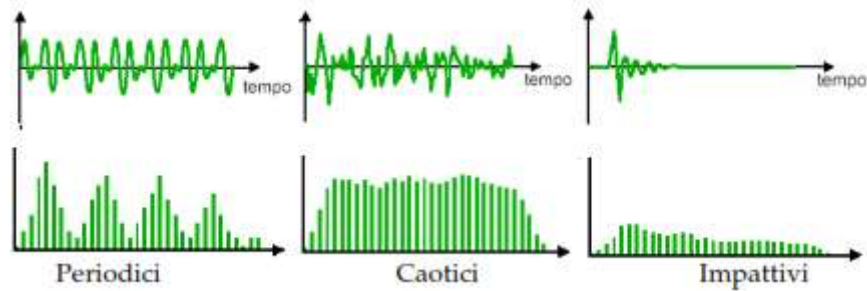
Questi parametri sono:

- picco-picco (*peak-to-peak*), indica l'escursione massima dell'onda (sollecitazione massima, gioco meccanico);
- picco (*peak*), indica l'escursione massima positiva o negativa della vibrazione (urti di breve durata);
- RMS (*Root Mean Square* = valore medio efficace), è la misura più significativa di ampiezza in quanto tiene conto della storia dell'onda nel tempo e dà un valore di ampiezza direttamente correlata al contenuto energetico della vibrazione.



Nei sistemi reali le vibrazioni sono generalmente contrastate dalle forze dissipative (attriti, smorzatori, ecc.) che si oppongono al moto originando dei transitori attraverso la limitazione dell'ampiezza del moto oscillatorio del sistema fino ad annullarlo, oppure fino a raggiungere l'ampiezza della vibrazione permanente nel caso di vibrazioni forzate.

I fenomeni vibratorii, schematicamente rappresentati nella figura seguente, possono essere armonici (sinusoidali puri), periodici (composti da più moti sinusoidali), caotici (costituiti da uno spettro continuo), transienti (periodici ma di breve durata) ma anche impattivi (caratterizzati da grandi ampiezze per brevi durate; ad esempio urto, esplosione).



1.3.1. La risonanza

La risonanza è una condizione fisica che si verifica quando un sistema oscillante forzato viene sottoposto a sollecitazione periodica di frequenza pari all'oscillazione propria del sistema stesso.

Un corpo capace di vibrare con una determinata frequenza, se viene investito da un'onda della stessa frequenza inizia a vibrare, ma tutti gli altri no.

Un fenomeno di risonanza provoca in genere un aumento significativo dell'ampiezza delle oscillazioni, che corrisponde ad un notevole accumulo di energia all'interno del sistema sollecitato: la risonanza può arrivare a distruggere il sistema per l'eccessivo accumulo energetico.

Nel 1940, solo quattro mesi dopo essere stato inaugurato, il ponte di Tacoma Narrows, negli Stati Uniti, finì in pezzi perché entrò in risonanza a causa di particolari raffiche di vento che si ripetevano con una frequenza uguale alla frequenza propria di oscillazione della struttura. Si comprende quindi da questi esempi l'importanza della determinazione della frequenza naturale in un sistema vibrante.



1.3.2. Gli accelerometri

Per la misura delle vibrazioni è solitamente necessaria una strumentazione relativamente complessa, costituita da un Trasduttore, un Amplificatore e un Indicatore.



Il trasduttore è uno strumento sensibile allo spostamento, alla velocità o all'accelerazione, in grado di avere in uscita una tensione (o altra grandezza elettrica) proporzionale al valore istantaneo della grandezza in ingresso. La grandezza elettrica in uscita dal trasduttore viene prima amplificata e poi inviata ad uno strumento che ne indica il valore, o meglio, essendo opportunamente tarato, indica direttamente il valore della grandezza (spostamento, velocità, accelerazione) rilevata dal trasduttore.

Una catena di misura completa è solitamente costituita dai seguenti componenti: trasduttore, pre-amplificatore, condizionatore di segnale, convertitore analogico / digitale, analizzatore di segnale, altri dispositivi (visualizzatore, stampante, plotter...).

La misura può essere effettuata su un solo asse, quando la vibrazione è attesa in una sola direzione (accelerometro monoassiale), o sui consueti 3 assi X, Y e Z (accelerometro triassiale), rappresentanti le tre dimensioni dello spazio.



È inoltre necessario comprendere il principio per mezzo del quale è possibile misurare la vibrazione: la piezoelettricità.

La piezoelettricità è la proprietà di alcuni cristalli di generare una differenza di potenziale quando sono soggetti ad una deformazione meccanica. Il funzionamento di un cristallo piezoelettrico è abbastanza semplice: quando viene applicata una pressione (o decompressione) esterna, si posizionano, sulle facce opposte, cariche di segno opposto. Il cristallo si comporta come un condensatore al quale è stata applicata una differenza di potenziale. Se le due facce vengono collegate ad un circuito elettrico esterno, viene quindi generata una corrente elettrica detta corrente piezoelettrica. Al contrario, quando si applica una differenza di potenziale al cristallo, esso si espande o si contrae.

Il cristallo piezoelettrico è dunque l'elemento cardine della misura: esso, sottoposto alla deformazione meccanica vibratoria, genera una corrente elettrica misurabile.

1.3.3. Gli accelerometri negli smartphone

I moderni smartphone e tablet sono dotati di tre accelerometri, uno per ciascun asse, i quali permettono di determinare come viene mosso il nostro dispositivo.

Questi accelerometri fanno parte della famiglia dei MEMS, Sistemi micro-elettro-meccanici (*Micro ElectroMechanical Systems*) o micromacchine. Si tratta di strumenti e meccanismi (ingranaggi, leve, bilance, interruttori) in silicio, delle dimensioni di frazioni di millimetro, opportunamente sagomati e litografati con tecniche analoghe a quelle con cui si realizzano i chip dei computer.

Lo strumento in questione è composto da una parte centrale libera di muoversi e collegata con delle molle a quella esterna, fissa e solidale con lo smartphone. Quando agitiamo il telefono la parte esterna si muove rispetto a quella centrale che rimane ferma, non essendo soggetta a forze e praticamente sconnessa dal resto del telefono. Caricando elettricamente queste due parti abbiamo a disposizione un microscopico condensatore per generare un segnale elettrico in grado di essere registrato dal processore dello smartphone. Il condensatore, misurando di quanto la molla viene compressa o allungata misura l'accelerazione del sistema.



Accelerazione dello smartphone



Accelerazione dello smartphone

1.4. Effetti delle vibrazioni sull'uomo (adulto)

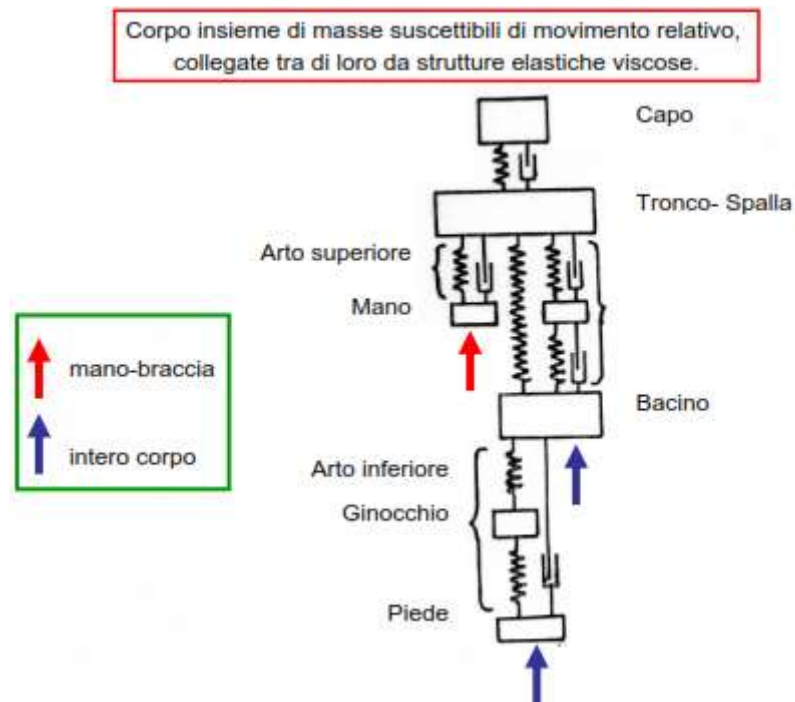
Gli studi concernenti gli effetti delle vibrazioni sull'organismo umano sono per lo più pertinenti alla branca della Medicina del Lavoro.

Numerosi ambienti lavorativi, strumenti o mezzi con cui il lavoratore deve confrontarsi giornalmente possono infatti essere fonte di vibrazioni.

In base agli strumenti o macchine che ne sono all'origine le vibrazioni possono essere suddivise in tre bande di frequenza:

- bassa frequenza (0-2 Hz) tipiche dei mezzi di trasporto;
- media frequenza (2-20 Hz) tipiche dei macchinari e degli impianti industriali;
- alta frequenza (oltre 20 Hz) tipiche degli strumenti vibranti.

Nell'immagine che segue si nota come il corpo umano possa essere assimilabile a un insieme di masse suscettibili di movimento relativo, collegate tra loro da strutture elastiche viscosi.



Nel contesto del loro potenziale impatto sulla salute dei soggetti lavorativamente esposti ¹², le vibrazioni vengono tipicamente quantificate mediante la quantità cinematica ‘accelerazione’.

Le intensità (r.m.s, m/s^2) e soprattutto le frequenze (Hz) delle vibrazioni possono essere molto diverse a seconda della sorgente che le produce. La diversa azione del moto vibratorio sull’organismo umano dipende, in generale, dalla frequenza. Il corpo umano è una struttura molto complessa che a causa delle diverse caratteristiche dei tessuti

(massa, caratteristica elastica, ecc.) che lo compongono presenta diverse frequenze naturali (o frequenze proprie).

Quando la vibrazione esterna ha una frequenza coincidente con la frequenza naturale del sistema sollecitato, si ha la condizione di risonanza: come precedentemente spiegato, a ciò può corrispondere una esaltazione dell'ampiezza del moto vibratorio.

Ad esempio le spinte, anche piccole, sincronizzate con la frequenza naturale di un'altalena (ovvero con il ritmo di movimento spontaneo di un'altalena) contribuiscono positivamente ad aumentare l'ampiezza dell'oscillazione. Un macchinario, o qualsiasi agente vibrante, trasferisce la massima quantità di energia ad un altro oggetto quando vibra alla frequenza di risonanza dell'oggetto. Per tale ragione i fenomeni di risonanza possono anche provocare seri danni alle strutture.

Il corpo umano nei confronti delle vibrazioni meccaniche si comporta come un sistema meccanico in cui tutti gli elementi (organi o strutture) sono caratterizzati da una propria fascia di frequenze di risonanza e le loro interazioni risultano influenzate dalle specifiche posture assunte dal corpo umano (seduto, in piedi, ecc.).

Nella tabella che segue sono rappresentate le frequenze di risonanza di alcuni organi e strutture del corpo umano.

FREQUENZA [Hz]	EFFETTI
2	Risonanza della testa per vibrazioni longitudinali, posizione seduta
1+3	Tutte le risonanze per vibrazioni verticali
2+3	Risonanza spalla-testa per vibrazioni longitudinali, posizione eretta
2+6	Risonanza del corpo seduto (vibrazione lungo asse del corpo)
3+3,5	Massima risonanza degli organi toracico-addominali in posizione eretta a
4	Massima risonanza del corpo per vibrazioni longitudinali
4+6	Risonanza toracico-addominale per vibrazione verticale su corpo seduto
4+12	Risonanza del corpo in piedi vibrazione lungo l'asse del corpo
5	Massima risonanza toracico-addominale
12	Picco di risonanza del corpo eretto per vibrazione verticale
13+20	Risonanza della testa
20+30	Massima risonanza del corpo
20+30	Risonanza di testa e spalle con vibrazione verticale a corpo seduto
30+90	Risonanza dei globi oculari
40+300	Risonanza del cranio
100+200	Risonanza del mascellare
900+1000	Risonanza del cranio

Sollecitato a bassa frequenza, inferiore a 2 Hz, il corpo umano risponde come una massa unica e omogenea.



A medie frequenze (2÷80 Hz) il corpo umano non si comporta più come una struttura unica ma ogni suo componente reagisce alla sollecitazione in modo diverso a seconda delle caratteristiche di massa, inerzia, caratteristiche di risonanza, ecc.



Alle alte frequenze (>80 Hz) i tessuti corporei smorzano efficacemente le vibrazioni, ma in adiacenza del punto di contatto con il corpo vibrante analogamente al caso precedente ogni suo componente reagisce alla sollecitazione in modo diverso a seconda delle caratteristiche di massa, inerzia, caratteristiche di risonanza, ecc.

In corrispondenza delle frequenze di risonanza si assiste al massimo effetto dell'azione delle forze esterne, pertanto, gli elementi coinvolti (strutture scheletriche e organi) sono sottoposti ad elevate sollecitazioni biodinamiche responsabili degli effetti fisiologici sull'organismo.



Per poter valutare l'azione delle vibrazioni sull'uomo, oltre alla frequenza bisogna conoscere la regione di ingresso, la direzione di azione, la durata, e l'accelerazione.

Questa ultima grandezza fisica (**a**), utilizzata per indicare l'ampiezza della vibrazione, è più significativa delle altre grandezze fisiche ad essa correlate (quali ad esempio la velocità, espressa in m/sec, o lo spostamento, espresso in m) perché rappresentativa delle variazioni di stimoli generati dalle vibrazioni e avvertiti dall'uomo.

Nel campo dell'igiene industriale viene utilizzato il valore efficace, ossia la radice quadrata della media dei quadrati in un certo intervallo di tempo T (r.m.s. - *root mean square*) dei valori istantanei dell'accelerazione [$a^2(t)$] (in m/s^2 o in multipli di **g**, accelerazione di gravità: $1 \text{ g} = 9,8 \text{ m/s}^2$):

$$a_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt}$$

Nell'ambito della Medicina del Lavoro, l'analisi dell'esposizione professionale a vibrazioni avviene con modalità distinte in funzione del distretto interessato.

In particolare, vanno valutate indipendentemente:

- le vibrazioni trasmesse al Sistema Mano-Braccio o HAV (acronimo dell'inglese *Hand-Arm Vibration*);

- le vibrazioni trasmesse al Sistema Corpo Intero o WBV (acronimo dell'inglese *Whole Body Vibration*).

1.4.1. Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio

Per vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio si intendono “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 muscolari¹³”. L'insieme di tali disturbi è noto con il termine ‘sindrome da vibrazioni mano-braccio’.

L'esposizione a questo tipo di vibrazioni si riscontra in lavorazioni nelle quali si impugnano utensili vibranti quali martelli demolitori, decespugliatori, motoseghe, smerigliatrici, scalpellatori e attrezzature sottoposte a vibrazioni e/o impatti. L'esposizione a vibrazioni, in questo caso, è causata dal contatto delle mani con l'impugnatura di utensili manuali o di macchinari condotti a mano. L'intervallo di frequenza di interesse è 6,3 - 1250 Hz.

La seguente tabella¹⁴ mostra i dati relativi alle denunce degli ultimi sei anni delle malattie riconducibili ad agenti fisici, elencate secondo la loro consistenza numerica al 2017. In giallo sono evidenziati i dati di alcune patologie riconducibili a vibrazioni meccaniche trasmesse al sistema mano-braccio come fattore causale o concausale.

Malattie professionali da agenti fisici denunciate all'Inail nel periodo 2012-2017						
Malattia	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Sindrome del tunnel carpale (Movimenti ripetuti + postura + forza + HAV)	5.363	5.823	6.224	6.201	6.547	6.117
Ernia discale lombare (Movimentazione manuale dei carichi + WBV)	3.667	4.383	5.706	6.388	5.979	5.740
Ipoacusia da rumore e trauma acustico	4.551	4.627	4.715	4.743	4.757	4.539
Sindrome di Raynaud (HAV)	197	194	173	172	190	136
Malattie dell'occhio (Radiazioni ionizzanti + Radiazioni ottiche)	113	109	105	101	113	100

1.4.2. Vibrazioni trasmesse al corpo intero

Per vibrazioni trasmesse al corpo intero si intendono “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 rachide¹⁵”, come recita il D. Lgs. 81/2008.

L’esposizione a questo tipo di vibrazioni si riscontra in lavorazioni a bordo di mezzi di movimentazione usati in industria e in agricoltura, mezzi di trasporto e, in generale, macchine industriali vibranti (gru, autogru, trattori, ruspe, carrelli elevatori, ecc.).

L’esposizione a vibrazioni è tipicamente associata alla guida del mezzo e quindi avviene mediante il contatto con il sedile. L’intervallo di frequenza rilevante è 1- 80 Hz.

Con riferimento alla Tabella precedente, sono evidenziati in verde i dati di alcune patologie dovute a vibrazioni meccaniche trasmesse al corpo intero come fattore causale o concausale.

Le patologie del rachide sono sicuramente le più rappresentative.

Recenti revisioni della letteratura epidemiologica¹⁶ concordano nell'attribuire una forte evidenza all'associazione tra patologie del rachide lombare ed esposizione professionale a vibrazioni trasmesse al corpo intero. In particolare, è stato evidenziato un aumentato rischio di lombalgia, sciatalgia, precoci alterazioni degenerative della colonna vertebrale non legate all'età (spondiloartrosi, spondilosi, osteocondrosi intervertebrale), discopatie e ernie discali lombari e/o lombo sacrali negli autisti professionisti di macchine e veicoli.

In alcuni studi¹⁷, seppur non ancora conclusivi, è stato segnalato che l'esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero può causare alterazioni del distretto cervico-brachiale (sindrome cervicale, cervico-brachialgie), dell'apparato gastroenterico (sintomi dispeptiche, gastrite e ulcera peptica), del sistema venoso periferico (varici venose degli arti inferiori, emorroidi), dell'apparato genitourinario (prostatiti, disturbi del ciclo mestruale, anomalie del parto, aborti) e del sistema cocleo-vestibolare (turbe vestibolari, effetti addizionali sull'ipoacusia da rumore).

Una certa enfasi¹⁸ è posta alla prevenzione del cosiddetto mal dei trasporti (*motion sickness*), caratterizzato da sintomi chinetosici quali nausea, vomito, vertigini, malessere generale, causati da oscillazioni di bassa frequenza (0.1-0,5 Hz) generate in particolare dal movimento di

imbarcazioni sia di piccola che di grande stazza. La prevalenza della sindrome chinetosica tende a declinare con l'età, è più frequente nel sesso femminile che in quello maschile, è condizionata dalla co-presenza di stimoli visivi, uditivi e olfattivi, ed è caratterizzata da un'ampia variabilità della suscettibilità individuale.

Alcuni effetti delle vibrazioni non possono però essere definiti dannosi in assoluto. È stato dimostrato^{19,20} come vibrazioni a corpo intero comprese di 4-7 Hertz in 15-30 minuti di esposizione portano a un significativo aumento della sonnolenza. È esperienza comune l'addormentamento in automobile o viaggiando su alcuni mezzi di trasporto e tale effetto può dirsi dannoso solo se comparato alla evidente e inevitabile riduzione dello stato di allerta del soggetto.



La potenzialità del danno delle vibrazioni su un soggetto vulnerabile come il neonato prematuro è dunque da tenere in massima considerazione ed è senza dubbio meritevole di studio.

1.4.3. Descrittori di esposizione e valori soglia

La valutazione del rischio derivante da vibrazioni contiene come elemento centrale la determinazione dell'esposizione cui sono soggetti tutti i lavoratori che utilizzano macchine o attrezzature che producono vibrazioni interessanti il sistema mano-braccio o il corpo intero.

Nel cercare di misurare l'impatto che le vibrazioni possono avere sull'uomo (e, nella fattispecie, sul lavoratore) non si può prescindere dal considerare focali l'entità dell'accelerazione a (espressa in m/s^2) e la durata dell'esposizione.

Il Decreto Legislativo 81/2008, Testo Unico in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro, fissa alcuni limiti per quanto riguarda l'esposizione a vibrazioni del lavoratore.

Il Capo III del Titolo VII riguarda la protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a vibrazioni.

L'articolo 201 recita:

1. Ai fini del presente capo, si definiscono i seguenti valori limite di esposizione e valori di azione.

a) per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio:

1) il valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a 5 m/s^2 ; mentre su periodi brevi è pari a 20 m/s^2 ;

2) il valore d'azione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, che fa scattare l'azione, è fissato a $2,5 \text{ m/s}^2$

b) per le vibrazioni trasmesse al corpo intero:

1) il valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a $1,0 \text{ m/s}^2$, mentre su periodi brevi è pari a $1,5 \text{ m/s}^2$

2) il valore d'azione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore, è fissato a $0,5 \text{ m/s}^2$.

2. Nel caso di variabilità del livello di esposizione giornaliero va considerato il livello giornaliero massimo ricorrente.

Livelli d'azione e valori limite prescritti dal DL 81/2008 art. 201

Vibrazioni trasmesse al Corpo Intero (WBV)	
Livello d'azione giornaliero di esposizione $A(8) = 0,5 \text{ m/s}^2$	Valore limite giornaliero di esposizione $A(8) = 1 \text{ m/s}^2$
Livello di esposizione per brevi periodi	$1,5 \text{ m/s}^2$

In alcuni Paesi, tuttavia, la legislazione nazionale ha stabilito requisiti più severi²¹ di quelli previsti dalla direttiva italiana.

La Germania, ad esempio, indica come limite per l'esposizione giornaliera (uguale o superiore a 2 ore) $0,8 \text{ m/s}^2$ per le vibrazioni sul corpo intero.

La Finlandia e la Polonia, invece, hanno fissato valori limite di esposizione a breve termine:

- la Finlandia indica come valori massimi di “*temporary exposure*” (ovvero pressoché istantanei, momentanei) 35 m/s^2 per le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio e 7 m/s^2 per le vibrazioni sul corpo intero;

- la Polonia fissa invece un valore limite di esposizione a breve termine $A(0.5)$ di 3.2 m/s^2 sul corpo intero.

La norma ISO 2631 (1997)²² indica poi ulteriori parametri.

Si possono ricavare informazioni relative al comfort e alla “cautela per la salute” per quanto riguarda l'esposizione a vibrazioni.

Nella seguente tabella viene indicato il livello di *discomfort* all'aumentare dell'accelerazione *a*.

Discomfort Rating	a_v (m/s ²) Range	ISO 2631-1 Discomfort Levels
0	< 0.32	not uncomfortable
1	0.32 - 0.50	a little uncomfortable
2	0.50 - 0.63	a little uncomfortable to fairly uncomfortable
3	0.63 - 0.80	fairly uncomfortable
4	0.80 - 1.00	fairly uncomfortable to uncomfortable
5	1.00 - 1.25	uncomfortable
6	1.25 - 1.60	uncomfortable to very uncomfortable
7	1.60 - 2.00	very uncomfortable
8	2.00 - 2.50	very uncomfortable to extremely uncomfortable
9	> 2.50	extremely uncomfortable

Per quanto riguarda il range di livelli di vibrazioni per cui avere cautela, dall'interpretazione dei grafici²³, la zona di rischio valutata tramite la r.m.s. va da un valore minimo di 2.8 m/s² ad un valore massimo pari a 6.0 m/s² per esposizioni comprese tra 1 e 10 minuti.

1.5. Effetti delle vibrazioni sul neonato

Largamente più deficitari e ancora lontani dall'essere conclusivi sono invece gli studi sugli effetti delle vibrazioni sul neonato, i quali restano ancor oggi perlopiù non conosciuti.

L'ambiente del trasporto espone gli infanti a stressori fisiologici ben noti, e gli infanti che richiedono trasporto sono già in uno stato di salute compromesso. Lo sviluppo del sensorio nel neonato prematuro è acerbo e i neonati critici mancano delle riserve necessarie a fronteggiare lo stress, come la regolazione delle funzioni fisiologiche e autonome in risposta ad esso o l'adattamento agli stimoli sensoriali²⁴.

La prima questione da dirimere è il livello di sofferenza o di discomfort del paziente. Per i neonati, così come per tutti quei pazienti che non sono in grado di comunicare il proprio stato di disagio (ad esempio pazienti psichiatrici, geriatrici ecc.), sono in uso apposite scale osservazionali che aiutano l'operatore sanitario a comprendere il livello di sofferenza del soggetto in questione.

In particolare, per quanto riguarda il neonato intubato e ventilato meccanicamente, è in uso la scala PIPP (Premature Infant Pain Profile) che si avvale di alcuni parametri quali l'età gestazionale, lo stato comportamentale, l'incremento di frequenza cardiaca, il decremento di saturazione arteriosa dell'ossigeno, il corrugamento della fronte, lo strizzamento degli occhi e il corrugamento del solco naso-labiale.

Nella tabella sottostante è indicato il PIPP score per cui un punteggio maggiore uguale a 12 indica dolore moderato o severo che impone un trattamento.

Premature Infant Pain Profile

Scala PIPP

Osservazione	Indicatore	0	1	2	3	Score
		EG ≥ 36 sett.	EG 32-35 sett. e 6 gg	EG 28-31 sett. e 6 gg	EG < 28 sett.	
Osservazione 15 secondi	Stato comportamentale	Quiete/veglia occhi aperti, mimica facciale presente	Attività/sonno, mimica facciale assente	Attività/sonno, occhi chiusi, mimica facciale presente	Quiete/sonno occhi chiusi, mimica facciale assente	
Osservazione di base: FC e SaO ₂						
	FC max	↑ 0-4 bpm	↑ 5-14 bpm	↑ 15-24 bpm	↑ ≥ 25 bpm	
	SaO ₂ min	↓ 0-2,4%	↓ 2,5-4,9%	↓ 5-7,4%	↓ ≥ 7,5 %	
	Corrugamento fronte	Nessuno 0-9% del tempo	Minimo 10-39% del tempo	Moderato 40-69% del tempo	Massimo ≥ 70% del tempo	
	Strizzamento occhi	Nessuno 0-9% del tempo	Minimo 10-39% del tempo	Moderato 40-69% del tempo	Massimo ≥ 70% del tempo	
	Corrugamento solco naso-labiale	Nessuno 0-9% del tempo	Minimo 10-39% del tempo	Moderato 40-69% del tempo	Massimo ≥ 70% del tempo	

Un'altra scala, utilizzata per interpretare la stabilità del neonato durante il trasporto, è la scala TRIPS²⁵ (Transport Risk Index of Physiologic Stability). Essa monitora la temperatura corporea, lo stato respiratorio, la pressione arteriosa sistolica e la risposta agli stimoli nocicettivi.

Nella tabella che segue è riportato il TRIPS score, il cui cut-off è invece un punteggio di 20.

Transport Risk Index of Physiologic Stability

TRIPS Variable	TRIPS Score Points
Temperature (°C)	
<36.1 or >37.6	8
36.1–36.5 or 37.2–37.6	1
36.6–37.1	0
Respiratory status	
Severe (apnea, gasping, intubated)	14
Moderate (respiratory rate >60/min and/or pulse oximetry <85)	5
None (respiratory rate <60/min and pulse oximetry >85)	0
Systolic blood pressure	
<20	26
20–40	16
>40	0
Response to noxious stimuli	
None, seizure, muscle relaxant	17
Lethargic response, no cry	6
Withdraws vigorously, cries	0

Durante il trasporto neonatale in emergenza, sono da sorvegliare gli stressori che potrebbero compromettere la salute del paziente, in parte derivanti dalle modalità del trasporto, in parte dalle vulnerabilità del paziente medesimo. Particolare attenzione va posta alla luce e alla temperatura²⁶ (serissima questione nel neonato, incapace di provvedere

efficacemente a una adeguata termoregolazione, pronò a una dispersione di calore eccessiva in particolare tramite la superficie del capo), cui si ovvia per mezzo dei moderni incubatori, al suono e alle vibrazioni.

Riguardo a queste ultime, ad esempio, è esperienza comune degli operatori del settore il fatto che le vibrazioni aumentino il rischio di estubazione accidentale.

Altra questione importante, e sempre relativa ai danni indiretti che le vibrazioni possono causare, è quella relativa alla maggiore difficoltà riscontrata dagli operatori durante le manovre assistenziali.

Seppur non conclusivi, alcuni studi²⁷ riportano come l'effetto vibratorio sull'infante possa aumentare la frequenza cardiaca e respiratoria, fino a indurre profonde desaturazioni di ossigeno, anche inferiori all'85%.

Altri studi²⁸ riportano invece alcuni risultati riguardo al monitoraggio della frequenza cardiaca e della variabilità della frequenza cardiaca (per cui valori minori si associano a stati fisiologici peggiori) durante il trasporto neonatale, sottolineando come i livelli di vibrazioni e suono eccedessero rispetto ai limiti raccomandati per l'adulto

Altri ancora²⁹ indicano deterioramenti inspiegati delle condizioni cliniche dei neonati alla fine del trasporto. Essi non solo riportano variazioni nella frequenza cardiaca e nella pressione sanguigna arteriosa, ma segnalano sporgenze e rientranze delle fontanelle di alcuni neonati

durante il decollo e l'atterraggio nel trasporto aereo. Ciò potrebbe indicare variazioni consistenti della pressione endocranica in tali situazioni.

È stato infine dimostrato³⁰ come il trasporto interospedaliero di neonati con ridotto peso alla nascita (VLBW infants) sia associato con un aumentato rischio di emorragie cerebrali intraventricolari.

Non tutte le vibrazioni sono dannose. Basti pensare al consueto atto di cullare un neonato, o alla facilità di addormentamento di un bambino in macchina, se sottoposti a vibrazioni di un certo tipo.

Vi sono alcuni report su alcuni effetti benefici delle stimolazioni vibratorie e della loro attiva azione nell'alleviare il dolore nelle popolazioni pediatriche e neonatali³¹³².

Le vibrazioni meccaniche possono avere qualche beneficio nel calmare le coliche dei neonati³³ e possono persino avere un impiego futuro nello stabilizzare la respirazione dei pretermine attraverso la stimolazione con meccanosensori stocastici³⁴.

Più nello specifico, è stato dimostrato come l'esposizione a frequenze di 1 Hertz e accelerazioni di 1m/s^2 portino a calmare rapidamente il pianto di un neonato e a ridurre la frequenza cardiaca, la qualcosa, come precedentemente spiegato, è uno dei principali indicatori di riduzione dello stress del neonato³⁵. Inoltre, come precedentemente illustrato, sono ben noti gli effetti di induzione del sonno per mezzo dell'esposizione a alcune frequenze di vibrazione. Ciò nel neonato,

contrariamente a quanto si può affermare per il lavoratore, non può certo definirsi dannoso.

1.5.1. Shaken baby syndrome

Conseguenza estrema di un violento scuotimento sul neonato è la cosiddetta *shaken baby syndrome* (sindrome del bambino scosso).

La prima descrizione della “sindrome del bambino scosso” in alcuni bambini con fratture multiple ed ematomi cranici subdurali risale al 1946³⁶. La prima segnalazione su una rivista medica del tipico quadro fundoscopico è successiva di vent'anni³⁷. Solo nel 1972 Carey, l'autore della prima segnalazione del 1946, pubblicò il lavoro che sancì definitivamente il nome della sindrome³⁸.

Essa è la conseguenza di un violento scuotimento del neonato, che ha ripercussioni prevalentemente sul distretto neurologico e osteo-articolare, e rappresenta una seria questione medico legale, in quanto è spesso conseguenza di una reazione esasperata del genitore nel vano tentativo di calmare il pianto del lattante.

Il distretto neurologico è senza dubbio il maggiormente interessato e la causa delle maggiori sequele. Le brusche accelerazioni e decelerazioni cui è sottoposto l'encefalo all'interno della scatola cranica sono responsabili di trazioni a livello del midollo cervicale, trazioni su vasi cerebrali (con conseguenti rotture e emorragie) e traumi contusivi dell'encefalo contro la scatola cranica. Tutto ciò è facilitato da alcuni

fattori tipici del neonato, quali l'ipotonia dei muscoli cervicali che non consentono il controllo del capo, il consistente volume e peso di quest'ultimo in rapporto al resto della massa corporea, l'elevato contenuto liquorale del sistema nervoso centrale immaturo associato a all'elevata capacità degli spazi subaracnoidei, la non completa mielinizzazione delle fibre nervose.

Il primo danno che si instaura a livello del sistema nervoso centrale è costituito dalla comparsa di emorragie subdurali e subaracnoidee; successivamente compaiono danni di natura ipossica, edema cerebrale fino all'insorgenza di una compressione dei capillari cerebrali con conseguente ischemia cerebrale. Altro organo bersaglio è l'occhio: a causa dello scuotimento si verificano delle emorragie retiniche, lesioni della retina e del nervo ottico che possono condurre anche a cecità. Ultimo tra i quadri patologici distintivi della SBS è il “danno assonale diffuso”, ovvero un danno che si crea a carico delle fibre nervose del sistema nervoso centrale ancora immature.

La SBS ha una mortalità del 20% e, tra i bambini che sopravvivono alla fase acuta, i 2/3 presentano danni neurologici permanenti di varia gravità (ritardo di sviluppo psicomotorio, paralisi, danni al midollo spinale, crisi convulsive, disturbi comportamentali, cecità o altri disturbi visivi, disturbi all'udito).

2. SCOPO DELLO STUDIO

Lo scopo dello studio è valutare la possibilità di utilizzare di una App su smartphone per il monitoraggio routinario delle vibrazioni durante l'elitransporto del neonato critico.

Ulteriore finalità è misurare l'entità delle vibrazioni trasmesse all'equipaggiamento del trasporto neonatale (incubatrice da trasporto) durante il volo con elicottero.

Ultimo obiettivo è verificare il differente impatto delle vibrazioni sull'incubatrice (e dunque sul paziente neonato) durante le diverse fasi del volo (decollo, volo di crociera, atterraggio).

3. MATERIALI E METODI

Per effettuare lo studio precedentemente descritto sono stati messi a disposizione un elicottero, un'incubatrice da trasporto e uno smartphone.

3.1. L'elicottero

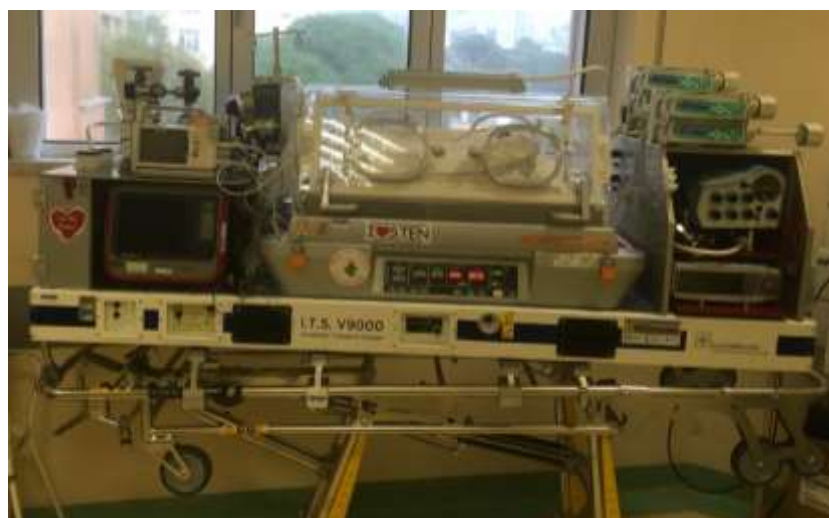
L'elicottero utilizzato è un mezzo dei Vigili del Fuoco, un AB 412 costruito dalla ditta Agusta S.p.a. su licenza Bell BHTI. È equipaggiato con due motori a turbina Pratt & Whitney PT6T-3B, è quadripala con il rotore principale di tipo articolato; il rotore di coda è bipala.





3.2. L'incubatrice

L'incubatrice utilizzata è una ATOM Transcapsule®, incubatrice da trasporto, prodotta da Burke & Burke S.p.A. di Milano.





3.3. Lo smartphone e l'App

Lo smartphone utilizzato è un iPhone SE.



È stata utilizzata una App scaricabile gratuitamente: “**Vibration Meter, seismograph, seismometer**”, sviluppata da ExaMobile S.A. con il United States Geological Survey.

È un'applicazione che misura l'entità delle accelerazioni, degli smottamenti, dei terremoti, delle vibrazioni del corpo umano o di qualsiasi altro oggetto. Essa permette di rilevare e registrare le onde sismiche generate da terremoti, eruzioni vulcaniche, valanghe e altre sorgenti di vibrazioni e scosse.

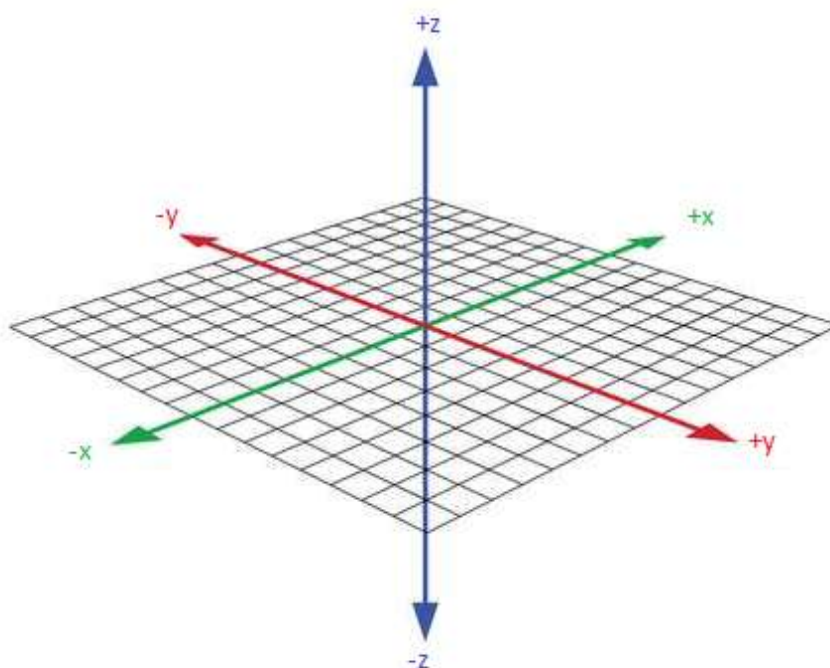


L'applicazione utilizza l'accelerometro presente nel telefono cellulare per rilevare vibrazioni ed analizzare le misure.

Il grafico che si visualizza nell'utilizzo dell'App presenta una registrazione del movimento del terreno (su cui è posto lo smartphone) a partire da un determinato momento.

Il movimento (l'accelerazione istantanea, misurata in m/s^2) è presentato come una funzione del tempo nei tre assi cartesiani, X, Y e Z. Viene inoltre annotata l'accelerazione media.

Gli assi X e Y sono paralleli alla superficie terrestre, mentre l'asse Z è ad essa perpendicolare. Vengono visualizzati con colori differenti, rispettivamente verde, rosso e blu.



Poiché l'App nasce per il monitoraggio dei movimenti sismici, i vari risultati sono interpretati secondo le scale in uso per gli smottamenti del suolo.

La scala di intensità Mercalli è una scala sismica utilizzata per misurare l'intensità di un terremoto. Essa misura gli effetti e le conseguenze di un terremoto e prende dunque in considerazione altri parametri rispetto alla magnitudine (che è la quantità di energia rilasciata, misurata dalla scala Richter).

La scala Mercalli distingue i seguenti livelli di vibrazione e di danno da impatto, indicati nella seguente tabella.

Grado	Effetti
I. IMPERCETTIBILE	Non avvertito dalle persone se non in circostanze particolari. Rilevato solo dagli strumenti.
II. MOLTO LEGGERO	Avvertito negli interni solo da poche persone, per lo più nei piani alti delle case e da persone in posizione particolarmente favorevole.
III. LEGGERO	Avvertito negli interni dove gli oggetti pendenti oscillano. Vibrazioni come se passassero camion leggeri. È possibile stimarne la durata. Può non essere riconosciuto come un terremoto.
IV. MODERATO	Gli oggetti sospesi oscillano in modo prolungato. Vibrazioni come se passassero camion pesanti, oppure sensazione di colpo secco come quello di una palla pesante contro un muro. Le automobili ferme oscillano. Finestre, piatti, bicchieri e porte vibrano. Al limite superiore del IV grado, le pareti di legno e gli infissi si incrinano.
V. ABBASTANZA FORTE	Avvertito anche esternamente. Le persone che dormono si svegliano. I liquidi oscillano e a volte traboccano. Piccoli oggetti instabili si muovono e si ribaltano. Le porte si aprono e si chiudono. Imposte e quadri si muovono. Gli orologi a pendolo si fermano (o cominciano a funzionare se sono fermi) e cambiano periodo di oscillazione. Cadono calcinacci dai muri.

Grado	Effetti
VI. FORTE	Avvertito da tutti. Finestre, piatti e bicchieri si rompono. Cadono libri dagli scaffali e quadri alle pareti. I mobili si muovono o si rovesciano. Le costruzioni fragili si incrinano. Piccole campane (come quelle delle chiese e delle scuole) suonano. Gli alberi e i cespugli ondeggianno.
VII. MOLTO FORTE	Difficile reggersi in equilibrio. Avvertito anche da quelli che sono alla guida di un'automobile. I mobili si rompono. Camini fragili si rompono alla base. Cadono intonaci, mattoni non ben fissati, cornicioni. Qualche incrinatura nelle costruzioni in pietra. Si formano onde, l'acqua nelle pozzanghere s'intorbida di fango. Piccole frane e avvallamenti nei banchi di sabbia e ghiaia. Campane grandi suonano. Sono danneggiati canali d'irrigazione in cemento.
VIII. ROVINOSO	La guida delle automobili è difficile. Danni alle costruzioni in pietra; collasso parziale. Qualche danno a stucchi e a qualche muro in mattoni. Oscillazioni o crollo di camini, ciminiere, monumenti, serbatoi sospesi. Gli edifici oscillano sulle fondamenta; i tramezzi cadono. Cadono le statue dai piedistalli. Si spezzano i rami degli alberi. Il flusso e la temperatura di sorgenti e pozzi cambiano. Si formano fratture nel terreno umido e in forte pendenza. Si possono avere vittime.
IX. DISTRUTTIVO	Panico generale. Costruzioni in pietra fortemente danneggiate, a volte con collasso totale; costruzioni in mattoni fortemente danneggiate. Gli edifici crollano o sono spostati dalle fondamenta. Forti danni ai serbatoi. Le tubature interrato si rompono. Si formano fratture cospicue nel terreno. In aree alluvionali sono spruzzati in aria sabbia e fango: si formano crateri di sabbia. Le vittime cominciano ad essere numerose.
X. COMPLETAMENTE DISTRUTTIVO	La maggioranza delle costruzioni è distrutta. Le strutture in legno, anche se ben costruite, e i ponti sono distrutti. Forti danni alle dighe, ai canali d'irrigazione e agli argini. Grandi frane. Invasione di acqua proveniente da canali, fiumi, laghi ecc. Sabbia e fango sono spostati orizzontalmente sulle spiagge e nelle regioni pianeggianti. Le rotaie sono leggermente incurvate.
XI. CATASTROFICO	Le dighe si rompono. Le rotaie sono fortemente incurvate. Le tubature interrato sono rese completamente inutilizzabili. Si aprono voragini nel suolo. Le comunicazioni sono interrotte. Si ha un gran numero di vittime.
XII. COMPLETAMENTE CATASTROFICO	Danno quasi totale. Grandi massi di roccia spostati. La morfologia del paesaggio è alterata. Oggetti lanciati in aria. Non resiste alcun manufatto. Può causare migliaia di vittime.

Infine, la Peak Ground Acceleration (PGA) è la misura della massima accelerazione del suolo indotta dal terremoto, e ne indica l'intensità in una singola area geografica (contrariamente alla scala Richter che misura l'entità globale di un terremoto). La PGA è uguale all'ampiezza del valore assoluto di accelerazione più grande registrato su un accelerogramma in un determinato sito durante un determinato terremoto.

In questa App, parallelamente alla misura dell'accelerazione sui tre assi, viene invece utilizzata la Instrumental Intensity Scale, sviluppata dalla United States Geological Survey, la quale annota la PGA su una scala di intensità simile alla scala Mercalli percepita.

Instrumental Intensity Scale

I	Rilevabile solo dagli strumenti
II-III	Vibrazioni molto lievi percepite solo da alcune persona
IV-V	Percezione di scuotimento moderato
VI-VII	Scossa forte e molto forte. Distruzione esplicita
VIII	Scosse improvvise. Distruzione diffusa.
IX-X+	Cambio nella configurazione della terra e spaccature

Questa funzione dell'App fornisce in tempo reale, mentre si visualizza sullo schermo il variare dell'accelerazione, un'interpretazione

estremamente pragmatica dell'entità della scossa, basata sulla percezione di essa e sui danni che essa può provocare.

3.4. Lo studio

Lo studio è consistito nel registrare le vibrazioni dell'incubatrice durante un volo in elicottero.

Il trasporto aereo è stato gestito dai Vigili del Fuoco di Genova, utilizzando un elicottero AB 412 Agusta.

Sul pavimento del velivolo è stata assicurata l'incubatrice da trasporto, senza utilizzare alcun dispositivo che riducesse le vibrazioni.

È stato in seguito posizionato lo smartphone sopra all' incubatrice ed è stato ivi fissato. L'app è stata attivata ed è iniziata la registrazione.

Il volo è durato 30 minuti dall'eliporto terrestre di Imperia, Italia (43° 53' 054" N; 008° 01' 713" E), all' helipad dell'ospedale pediatrico G. Gaslini, Italia (44° 23' 600" N; 008° 59' 313" E).

Il METAR (Meteorological Aerodrome Report) di volo era LIMJ 281020Z 11009KT 9999 FEW018 13/09 Q1008, indicando dunque condizioni ottimali di volo.

4. RISULTATI

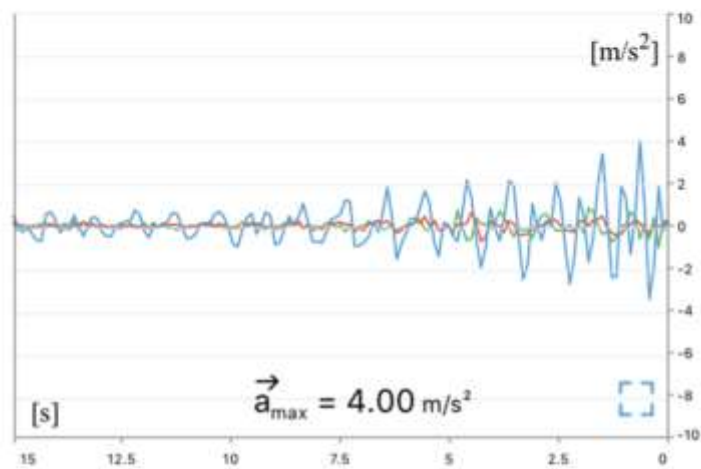
I risultati dello studio sono illustrati nelle immagini sottostanti, che riportano i momenti salienti e distintivi del volo.

Sono indicati, per ogni fase del trasporto, l'accelerazione massima registrata, l'accelerazione media e il livello corrispondente nella Instrumental Intensity Scale, che fornisce una rapida interpretazione del danno potenziale.

Le variazioni dei valori di questi parametri sono maggiormente evidenti nel susseguirsi di queste fasi: accensione dei motori dell'elicottero, decollo da eliporto terrestre, crociera, avvicinamento all'helipad, atterraggio sull'helipad.



Time 00:02:02 Average 0.4 Max 4.0



Starting helicopter engines

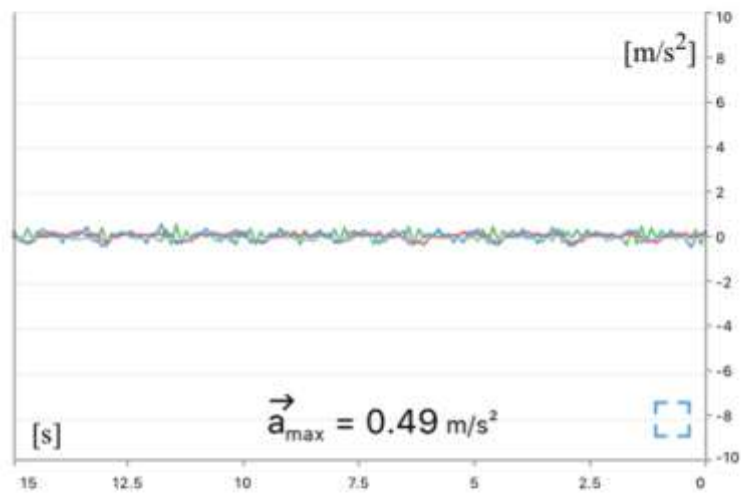
Scale III-IV
 perceived shaking *weak, light-moderate*
 potential damage *none-very light*

Take off on-ground helipad

Scale VIII
 perceived shaking *severe-violent*
 potential damage *moderate-to-heavy*



Time 00:00:22 Average 0.3 Max 1.1



Cruising

Scale II-III

perceived shaking

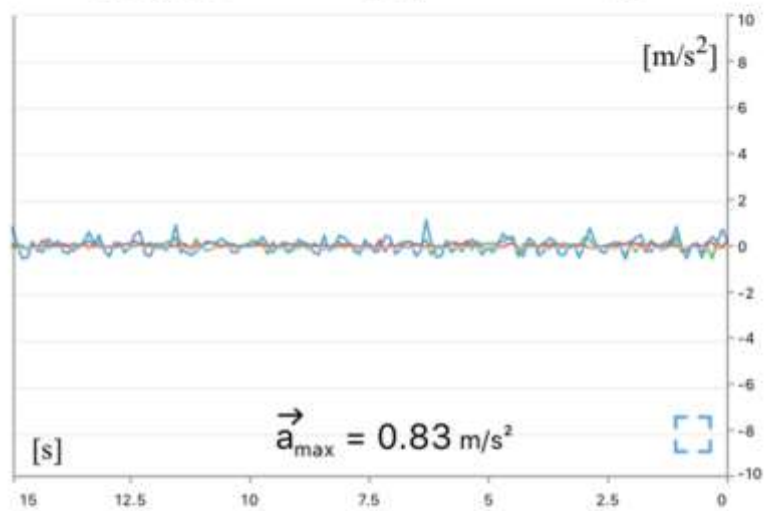
weak

potential damage

none



Time 00:00:30 Average 0.4 Max 2.8



Cruising

Scale II-III

**Approaching
Gaslini helipad**

Scale IV-V

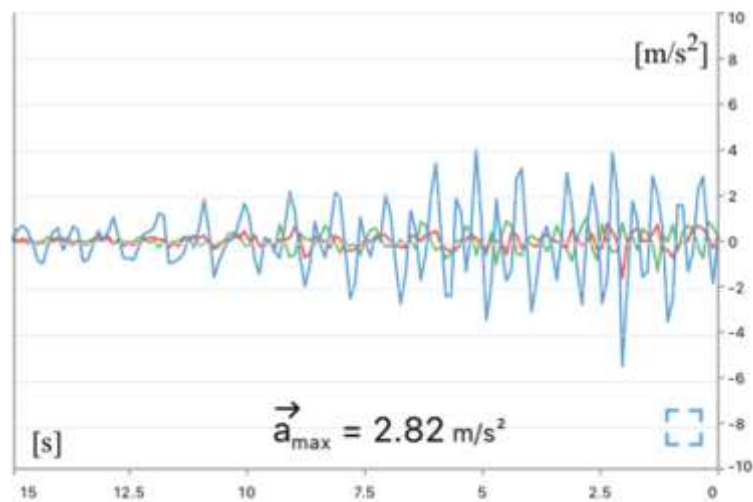
perceived shaking
light-moderate
potential damage
none-very light



Time
00:02:07

Average
0.5

Max
5.5



Landing on-roof Gaslini helipad

Scale VIII-IX
perceived shaking
severe-violent
potential damage
moderate-to-heavy

5. DISCUSSIONE

I valori ottenuti con la registrazione effettuata mediante la App per smartphone sono sovrapponibili a quelli ottenuti durante una registrazione sperimentale ³⁹ mediante stazione accelerometrica standard.

Il sistema costituito dallo smartphone e dalla App si è dimostrato sensibile, preciso, accurato e di facile uso.

Al contrario, i sistemi standard sono costituiti da un accelerometro triassiale di una certa complessità che, come precedentemente è stato illustrato, è caratterizzato da un notevole ingombro e richiede competenze tecniche specifiche per essere utilizzato.

Le misurazioni hanno rilevato, in alcune fasi di volo, la presenza di vibrazioni di intensità superiore ai livelli indicati come potenzialmente dannosi dalle norme nazionali e internazionali, durante una registrazione in condizioni meteorologiche ottimali.

Le fasi di volo maggiormente critiche sono il decollo e l'atterraggio.

6. CONCLUSIONI e PROSPETTIVE

Tramite l'utilizzo di questa App per smartphone si è dimostrato come semplicemente con un iPhone si possano registrare i livelli di vibrazioni in volo, superando quindi il problema tecnico che imponeva di caricare a bordo strutture molto complesse per ottenere lo stesso risultato. Ciò permette di poter pensare a una registrazione routinaria durante il volo.

Poiché gli effetti delle vibrazioni sul neonato sono ancora poco chiari, una delle maggiori prospettive è quella di sincronizzare la App per le vibrazioni con altre applicazioni in grado di monitorare i parametri vitali (saturazione arteriosa dell'ossigeno, frequenza cardiaca, frequenza respiratoria), in modo da poter verificare gli effetti reali delle vibrazioni.

In secondo luogo, lo studio mette in luce la necessità di adottare strategie di volo il più possibile conservative al fine di ridurre l'impatto delle vibrazioni. Ciò è importante anche in tempo reale: il monitoraggio istantaneo sincronizzato delle vibrazioni può indicare quando i limiti vengono superati e suggerire manovre di volo correttive.

Infine, lo studio suggerisce l'importanza di ulteriori sforzi per mettere a punto apparecchiature che possano smorzare efficacemente le vibrazioni.

Infatti, tutte le attrezzature attualmente in uso per l'utilizzo durante il volo tengono fortemente in considerazione la progettazione dei dispositivi di ancoraggio per garantire la sicurezza di tutti. Essi hanno la caratteristica di vincolare saldamente le apparecchiature utilizzate alla struttura dell'elicottero, favorendo quindi il trasferimento di tutte le vibrazioni prodotte.

Fino ad oggi pochissimo è stato fatto per ridurre l'impatto delle vibrazioni, se non l'adozione di materassini all'interno dell'incubatrice (sui quali i neonati sono appoggiati), che sono tuttavia certamente di scarsa efficacia. Riteniamo pertanto che, non potendo eliminare gli effetti delle principali manovre durante il volo, come il decollo e l'atterraggio, sia senza dubbio necessario implementare lo studio e la progettazione di apparecchiature idonee allo smorzamento delle vibrazioni in volo.

7. Bibliografia

¹ Bellini C, Ramenghi LA. The neonatal transport index could be used as a reference tool for the Italian perinatal care regionalisation plan. *Acta Paediatr.* 2018;107(5):902. doi:10.1111/apa.14150.

² Gente M, Aufieri R, Agostino R, et al. Nationwide survey of neonatal transportation practices in Italy. *Ital J Pediatr.* 2019;45(1):51. Published 2019 Apr 18. doi:10.1186/s13052-019-0640-z.

³ Ministero della Salute. Linee di indirizzo sull'organizzazione del sistema di trasporto materno assistito (STAM) e del sistema in emergenza del neonato (STEN). http://www.salute.gov.it/imgs/C_17_pagineAree_4483_listaFile_itemName_4_file.pdf

⁴ ARS Liguria, Organizzazione dei servizi regionali di trasporto perinatale di emergenza (STAM E STEN). https://www.alisa.liguria.it/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=806&Itemid=653

⁵ Piano Sanitario Nazionale 1998-2000. Progetto obiettivo materno infantile.

⁶ Gaslini, Team Trasporti Neonatale. <https://www.gaslini.org/reparti/team-trasporti-neonatale/>

⁷ ARS Liguria, Organizzazione dei servizi regionali di trasporto perinatale di emergenza (STAM E STEN). https://www.alisa.liguria.it/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=806&Itemid=653

⁸ Società italiana di medicina perinatale, "Requisiti E Raccomandazioni Per L'assistenza Perinatale", SEE Editrice, Firenze, 1999

⁹ da Filicaia, Marco Geddes, and Alfonso Lagi. "L'ospedale e il paziente "fragile" Un concetto in divenire: contributo alla riflessione."

¹⁰ INAIL, La valutazione del rischio vibrazioni, 2019

- ¹¹ UNI 9916:2004 – Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici
- ¹² Massimiliano Della Pasqua, *Vibrazioni meccaniche negli ambienti di lavoro*, EPC, 2006
- ¹³ D.Lgs. 81/2008, art. 200 comma 1, lettera a
- ¹⁴ INAIL, *La valutazione del rischio vibrazioni*, 2019
- ¹⁵ D.Lgs. 81/2008, art. 200 comma 1, lettera b
- ¹⁶ L. Alessio, “*Trattato di medicina del lavoro*”, Piccin, 2015
- ¹⁷ Comité Européen de Normalisation. *Mechanical vibration - Guide to the health effects of vibration on the human body* Brussels: CR Report 123491996
- ¹⁸ L. Alessio, “*Trattato di medicina del lavoro*”, Piccin, 2015
- ¹⁹ Zhang N, Fard M, Bhuiyan MHU, Verhagen D, Azari MF, Robinson SR. The effects of physical vibration on heart rate variability as a measure of drowsiness. *Ergonomics*. 2018;61(9):1259-1272. doi:10.1080/00140139.2018.1482373
- ²⁰ Azizan A, Fard M, Azari MF, Jazar R. Effects of vibration on occupant driving performance under simulated driving conditions. *Appl Ergon*. 2017;60:348-355. doi:10.1016/j.apergo.2016.12.020
- ²¹ European Agency for Safety and Health at Work. EUROPEAN RISK OBSERVATORY REPORT. *Workplace exposure to vibration in Europe: an expert review*. 2008
- ²² ISO 2631. *Vibrazioni meccaniche e urti - Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero*. 1997
- ²³ Pier Paolo Valentini, *Modelli virtuali predittivi del comfort vibrazionale degli occupanti di autovetture* Pier Paolo Valentini. Tesi di dottorato. Università degli studi di Roma, Tor Vergata, Facoltà di Ingegneria.
- ²⁴ Bailey V, Szyld E, Cagle K, et al. Modern Neonatal Transport: Sound and Vibration Levels and Their Impact on Physiological Stability. *Am J Perinatol*. 2019;36(4):352-359. doi:10.1055/s-0038-1668171

- ²⁵ Lee SK, Aziz K, Dunn M, et al. Transport Risk Index of Physiologic Stability, version II (TRIPS-II): a simple and practical neonatal illness severity score. *Am J Perinatol*. 2013;30(5):395-400. doi:10.1055/s-0032-1326983
- ²⁶ Bowman ED, Roy RN. Control of temperature during newborn transport: an old problem with new difficulties [published correction appears in *J Paediatr Child Health* 1998 Feb;34(1):108]. *J Paediatr Child Health*. 1997;33(5):398-401. doi:10.1111/j.1440-1754.1997.tb01628.x
- ²⁷ Arya R, Williams G, Kilonback A, et al. Is the infant car seat challenge useful? A pilot study in a simulated moving vehicle. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2017;102(2):F136-F141. doi:10.1136/archdis-child-2016-310730
- ²⁸ Karlsson BM, Lindkvist M, Lindkvist M, et al. Sound and vibration: effects on infants' heart rate and heart rate variability during neonatal transport. *Acta Paediatr*. 2012;101(2):148-154. doi:10.1111/j.1651-2227.2011.02472.x
- ²⁹ Macnab A, Chen Y, Gagnon F, Bora B, Laszlo C. Vibration and noise in pediatric emergency transport vehicles: a potential cause of morbidity? *Aviat Space Environ Med* 1995;66(03):212–219
- ³⁰ Mohamed MA, Aly H. Transport of premature infants is associated with increased risk for intraventricular haemorrhage. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2010;95(6):F403-F407. doi:10.1136/adc.2010.183236
- ³¹] S. Inal, M. Kelleci, Relief of pain during blood specimen collection in pediatric patients, *MCN Am. J. Matern. Child Nurs*. 37 (2012) 339–345.
- ³² K. McGinnis, E. Murray, B. Cherven, C. McCracken, C. Travers, Effect of vibration on pain response to heel lance: a pilot randomized control trial, *Adv Neonatal Care* 16 (2016) 439–448.

- ³³ V. Huhtala, L. Lehtonen, R. Heinonen, H. Korvenranta, Infant massage compared with crib vibrator in the treatment of colicky infants, *Pediatrics* 105 (2000) E84.
- ³⁴ E. Bloch-Salisbury, P. Indic, F. Bednarek, D. Paydarfar, Stabilizing immature breathing patterns of preterm infants using stochastic mechanosensory stimulation, *J Appl Physiol* (1985) 107 (2009) 1017–1027.
- ³⁵ Yoko EMORI, Effect of the whole body vibration to the infants on a cradle, 1995
- ³⁶ Caffey J. Multiple fractures in long bones of infants suffering from chronic subdural hematoma. *Am J Radiol* 56: 163-173, 1946
- ³⁷ Gilkes MJ, Mann TP. Fundi of battered babies. *Lancet* 2: 468-469, 1967
- ³⁸ Caffey J. On the theory and practice of shaking infants. Its potential residual effects of permanent brain damage and mental retardation. *AJDC* 124: 161-169, 1972.
- ³⁹ A. Cambareri, Valutazione dell’impatto delle vibrazioni sul neonato all’interno dei veicoli (ambulanza terrestre ed elicottero) utilizzati per il Servizio di Trasporto di emergenza Neonatale, 2019