

Gli infrasuoni, hanno una capacità speciale di influenzare la salute e l'adattamento umano perché le loro frequenze e ampiezze convergono con quelle generate dal corpo umano. I suoni muscolari e le vibrazioni di tutto il corpo sono prevalentemente nell'intervallo compreso tra 5 e 40 Hz. Le ampiezze tipiche delle oscillazioni sono comprese tra 1 e 50 μm , che è equivalente a pressioni di circa 1 Pa ed energie nell'ordine di $10^{-11} \text{ W m}^{-2}$. Le sorgenti di infrasuoni dell'ambiente naturale provengono da venti, microbaromi, attività geomagnetica e microsismi e possono propagarsi per milioni di metri. Le fonti culturali (?) provengono dall'aria che si muove attraverso i sistemi di condotti all'interno di edifici, grandi macchinari e, più recentemente, turbine eoliche. Esistono anche fonti sconosciute di infrasuoni. È importante differenziare gli effetti degli infrasuoni dalla consapevolezza o dall'esperienza della sua presenza. Si verificano correlazioni di forza moderate tra l'incidenza degli infrasuoni e le segnalazioni di nausea, malessere, affaticamento, avversione all'area, dolore aspecifico e disturbi del sonno quando i livelli di pressione superano circa 50 db per periodi prolungati. Studi sperimentali hanno verificato questi effetti. La loro validità è supportata da soluzioni biofisiche quantitative convergenti. Poiché le cellule interagiscono attraverso lo scambio di minimi quanti di energia che corrispondono a livelli notevolmente bassi di pressione sonora prodotti da fenomeni naturali e turbine eoliche sul corpo e sulle sue cavità, gli standard tradizionali per la sicurezza e la qualità della vita potrebbero non essere ottimali.

Il corpo umano è composto da molti miliardi di cellule che esistono all'interno di una matrice tridimensionale che mostra proprietà meccaniche comprese le vibrazioni intrinseche e le emissioni sonore (Oster e Jaffe 1980; Brozovich e Pollack 1983) nell'intervallo tra 10 e 30 Hz (cicli per secondo). Queste cellule, i tessuti e gli organi che compongono sono esposti a pressioni ed energie meccaniche o "sonore" da una varietà di sorgenti naturali e costruite dall'uomo che si propagano come onde nell'aria o nel terreno. Le variazioni di tempo delle pressioni meccaniche tra circa 20 Hz (20 volte al secondo) e 20.000 Hz (20 kHz) vengono normalmente percepite come suoni quando stimolano il timpano. Quando la frequenza diminuisce al di sotto di 100 Hz, il tono viene percepito con minore

continuità fino a circa 30 Hz, dove viene percepito con intermittenza. La frequenza più bassa per la sensazione tonale è circa 20 Hz (Woodsworth e Schlosberg 1962). Tradizionalmente, le pressioni sonore inferiori a 20 Hz sono definite infrasuoni e quelle superiori a 20 kHz sono ultrasuoni. Da una prospettiva biologica, la distinzione non è discreta ma può variare tra circa 100 Hz. In contesti sia naturali che culturali, le energie associate al suono di solito non sono limitate a una singola frequenza sinusoidale o "pura" ma distribuite su un ampio spettro (Alves-Pereira e Costelo Branco 2007) in modo tale che gli infrasuoni e il rumore a bassa frequenza (ILFN <500 Hz) sono considerati un continuum più realistico per questo dominio.

A frequenze molto basse inferiori a 100 Hz, gli effetti esperienziali della stimolazione vibratoria all'interno delle orecchie o generati all'interno di tutto il corpo possono sembrare gli stessi. Il suono aerodisperso di intensità sufficiente entra nel corpo per assorbimento diretto e stimola il tessuto non uditivo che produce effetti fisiologici essenzialmente simili alle vibrazioni del corpo intero (Stephens 1969). La distinzione tra vibrazione meccanica del corpo intero e assorbimento diretto dalle pressioni sonore diventa meno importante man mano che la frequenza si riduce. Secondo Pachold e Mayton (2011), la vibrazione del corpo intero implica il trasferimento di energie nella gamma di 0,5–80 Hz dalla vibrazione ambientale al corpo umano attraverso un'ampia area di contatto. Questa gamma di transizione (20-100 Hz) è spesso associata anche alla "percezione" di sorgenti naturali sottili. Ad esempio, alcune persone, durante le condizioni meteorologiche e l'ora del giorno ottimali, sperimentano un ronzio di 20-40 Hz associato alla corrente a getto circa 10 km di quota (Brown 1973).¹

Al di sotto di 1 Hz le fluttuazioni della pressione all'interno dell'aria o delle strutture solide a contatto con il corpo sono descritte in secondi o periodi, il tempo tra due ampiezze di picco successive. La

¹ In [meteorologia](#) una **corrente a getto** (in [inglese jet stream](#)) è un veloce flusso d'aria canalizzato, localizzato nell'[atmosfera terrestre](#) generalmente appena sotto la [tropopausa](#) e lungo i confini tra [masse d'aria](#) con significativi gradienti termici orizzontali.

frequenza equivalente, l'inverso della durata, è milliHz (mHz); un periodo di 1000 s (circa 16,7 min) è 1 mHz. La maggior parte di questi periodi o frequenze variano tra 5 e 7 mHz, che è l'oscillazione libera di fondo della terra che è accoppiata con l'atmosfera inferiore (Nishida e altri. 2000), a circa 10 Hz. Le loro ampiezze si sovrappongono alle oscillazioni intrinseche del corpo umano. Le sorgenti naturali degli infrasuoni includono sistemi meteorologici avverse (Goerke e Woodward 1966), venti speciali (Persinger 1980), microsismi, attività aurorale (Wilson 1973), tempeste geomagnetiche e fenomeni vulcanici (Goerke e altri. 1965). Le sorgenti costruite provengono dall'aria che si muove attraverso lunghi sistemi di condotti in grandi edifici e all'interno di veicoli in movimento come automobili o adiacenze ad aeromobili operativi (Costelo Branco e Alves-Pereira 2004). Le distanze lineari tra i grandi edifici moderni di diverse altezze generano infrasuoni dal rapido movimento orizzontale dell'aria (vento). Più recentemente, la proliferazione di turbine eoliche ha aumentato sostanzialmente gli stimoli di fondo associati a queste frequenze.

Una delle premesse fondamentali delle scienze fisiche è che la struttura detta la funzione. Piccoli cambiamenti nella struttura delle molecole come la sostituzione di un fosfato o di uno ione idrogeno possono influenzare notevolmente la funzione della molecola e modificare la concentrazione richiesta per la sua efficacia biochimica. Le grandi molecole hanno la capacità di essere multifunzionali a seconda del contesto chimico locale. Anche i fenomeni manifestati come onde, come le pressioni acustiche o i campi elettromagnetici, mostrano potenti configurazioni tranne per il fatto che sono espressi come modelli temporali piuttosto che spaziali. Onde sinusoidali pure o modelli semplici che variano nel tempo si trovano meno frequentemente nell'ambiente rispetto a schemi acustici ed elettromagnetici complessi che hanno il potenziale per mediare le informazioni tra l'ambiente e le cellule a livelli di intensità molto bassi. Affidarsi solo all'intensità media degli straordinari per queste sorgenti (come gli infrasuoni) come indicatori della loro importanza è utile quanto misurare solo il volume di una conversazione per discernerne il contenuto sintattico e la significatività.

Per discernere i potenziali impatti di queste energie sulla salute umana e sull'adattamento, deve esserci una chiara differenziazione tra le esperienze o la consapevolezza associate alla loro presenza e gli effetti della loro presenza. Quest'ultimo non richiede consapevolezza o attribuzione accurata. Per apprezzare la loro potenziale influenza, sono essenziali i valori numerici effettivi per gli intervalli di pressioni e gli intervalli di frequenze. Per accogliere i meccanismi con cui interagiscono con il corpo umano, è necessario considerare la conoscenza delle sue vibrazioni intrinseche che incoraggerebbero i fenomeni di risonanza. Questo documento è una panoramica integrata delle caratteristiche generali degli "infrasuoni" e dei loro potenziali e misurati effetti biologici e comportamentali. Non intende essere una revisione esaustiva. Per fornire contesto e significato a questo problema complesso, viene fornita una prospettiva interdisciplinare. L'enfasi sugli esempi e le soluzioni quantitative ha lo scopo di fornire al lettore una prospettiva per apprezzare il ragionamento da cui le diverse discipline traggono conclusioni sui processi biofisici. Comprendendo la natura fondamentale di forze, pressioni ed energie attraverso l'analisi dimensionale, il ragionamento su cui si basano le conclusioni diventa disponibile a tutti noi piuttosto che a pochi tecnici.

Sebbene ci siano miliardi di eventi fisici al secondo che si muovono nel volume occupato dal corpo (Norretranders 1999), solo quelli che producono qualche cambiamento misurabile all'interno dell'organismo sono classificati come stimoli. Tutta l'esperienza è generata dall'attività cellulare all'interno del cervello umano; è una massa di circa 1,5 kg sospesa in un fluido e più o meno sigillata entro un confine relativamente più duro di circa 7 mm di spessore (il cranio). La distinzione tra le esperienze degli stimoli e gli effetti degli stimoli è nota da decenni. I recenti sviluppi nelle neuroscienze indicano che gli stimoli possono influenzare in modo significativo il cervello direttamente senza la consapevolezza della persona.

Ad esempio, Berns e altri (1997) hanno mostrato che piccoli cambiamenti nella struttura grammaticale durante la lettura che non erano percepiti dai partecipanti producevano evidenti

cambiamenti locali in strutture discrete del sottosuolo come il cingolato anteriore che è associato al legame emotivo e all'affetto. Hoshiyama e altri. (2003) hanno dimostrato risposte "subconscie" all'interno dell'emisfero destro durante la presentazione dei modelli facciali anche quando gli stimoli sono stati presentati per durate "subliminali" o una volta ogni circa 2 s (0,5 Hz). In generale, per la "consapevolezza" è necessaria una "massa critica" e un'organizzazione dei neuroni nelle cortecce cerebrali (Fendrich e altri. 1992). Il cervello colpisce tutti gli organi e i tessuti; cambiamenti cerebrali, anche senza "consapevolezza", possono determinare l'adattamento. Le esperienze aspecifiche che includono "malessere", malessere, letargia, nausea di basso livello, vertigini, lieve apprensione e diminuzione della "concentrazione" sono spesso riportate in presenza di infrasuoni con o senza la "consapevolezza" della sua presenza.

In secondo luogo, la principale fonte di varianza² negli studi sull'uomo sono le differenze individuali. Persone diverse possono rispondere, se non del tutto, in modo molto diverso allo "stesso" stimolo fisico. Ad esempio, alcuni individui possono ammalarsi gravemente in risposta al consumo di un alimento specifico, come il burro di arachidi, mentre la maggior parte delle persone consuma il materiale senza incidenza. Alcuni individui sviluppano nausea in risposta ai videogiochi interattivi, mentre la maggior parte delle persone no. I casi più ben documentati di anomalie specifiche dello stimolo sono stati segnalati per i pazienti epilettici. Le crisi parziali complesse, in particolare, possono essere evocate da odori specifici, corde musicali e persino sequenze di parole. L'eziologia dell'ipersensibilità a livelli di energia molto bassi con un particolare schema spaziale o temporale è correlata a una caratteristica fisica spesso sottile all'interno della microstruttura o chimica del cervello della persona. L'apprezzamento per l'importanza delle differenze e delle vulnerabilità

² In Il termine di "varianza" venne introdotto nel 1918 da [Ronald Fisher](#) e sostituì nel tempo la denominazione di "deviazione standard quadratica" utilizzata da [Karl Pearson](#).

individuali quando si considerano gli effetti degli infrasuoni non può essere sottovalutato. Il riconoscimento di queste differenze (Tromp 1963) è stato determinante per differenziare i potenti effetti dei cambiamenti nel tempo (masse d'aria) o fattori geofisici sulle popolazioni (Persinger 1987a, b).

Per gli infrasuoni, la variabilità individuale è particolarmente importante. Anche durante esposizioni a breve termine a fluttuazioni di pressione molto elevate, la sensibilità delle sottopopolazioni può essere significativa. Durante esperimenti precedenti (Mohr e altri. 1965) che coinvolgevano intense simulazioni di infrasuoni del volo spaziale per soli 2 minuti, i rapporti includevano "sensazioni di solletico" della membrana timpanica, soffocamento, vibrazione del campo visivo, dolore all'orecchio medio, lieve nausea, salivazione, mal di testa transitorio e dolore ai testicoli. A frequenze molto specifiche, come 12 Hz con fluttuazioni di pressione tipiche degli infrasuoni naturali, alcuni ma non tutti i soggetti all'interno di un ambiente di ufficio hanno riportato malesseri istantanei e molto intensi (Bruel e Olesen 1973).

Come descritto dalla ricerca persistente e seminale di Costello Branco e Alves-Pereira (2004) mantenuta, l'esposizione specifica per vocazione (tecnici aeronautici, macchinisti navali e piloti) a intensità molto elevate di infrasuoni e suoni a bassa frequenza può produrre malattie vibroacustiche con caratteristiche molto specifiche (ispessimento pericardico senza processo infiammatorio) e sintomi che possono essere differenziati dallo "stress generale". Queste osservazioni non significano che tutti gli individui sperimenteranno sensazioni simili vicino alle turbine, per esempio, o durante condizioni naturali intense. Queste osservazioni ribadiscono l'importanza di accogliere la complessità e la sensibilità differenziale degli individui.

La terza e forse la più contro intuitiva considerazione è che l'entità di un fenomeno a livello osservabile casualmente non è sempre la caratteristica critica più efficace dal punto di vista biologico. Il ridimensionamento, ovvero i livelli delle analisi spaziali e temporali, è importante. Ad

esempio, rispetto alla densità di corrente di un fulmine, il movimento di carica lungo un assone dei potenziali d'azione di mediazione di un neurone apparirebbe molto più piccolo. Tuttavia, le densità di corrente per entrambi i fenomeni sono molto simili (Persinger 2012).

Ciò che sembra essere stimoli banali e inefficaci quando presentato in una forma può essere catastrofico quando presentato in un'altra forma. All'interno del dominio dei campi magnetici a bassa frequenza con intensità simili a quelle incontrate vicino a computer o sistemi elettronici, (Murugan e altri, 2013) hanno recentemente dimostrato che la planaria (un tipo di verme piatto acquatico) esposto a uno specifico modello di campi per alcune ore al giorno si dissolveva entro 2 h se un altro campo strutturato temporalmente veniva applicato il quinto giorno ma non dopo 1 giorno. L'efficacia di un modello di stimolo dipende dalle informazioni congruenti con la segnalazione cellulare e le dinamiche interne. La grandezza è meno importante. In alternativa, si può urlare o sussurrare una frase; l'ampiezza non cambia il significato all'interno della sintassi.

La dimostrazione che gli stimoli infrasonici influenzano il corpo umano in modo ottimale richiede la convergenza di dati sperimentali, valori congruenti da calcoli che impiegano proprietà fisiche e probabili meccanismi o processi. Delle sette unità standard internazionali di base (SI) con cui misuriamo il mondo fisico, la massa (in chilogrammi), la lunghezza (o la distanza in metri) e il tempo (in secondi) sono le più applicabili qui. La distanza divisa per il tempo ($m s^{-1}$) è la velocità e la velocità per unità di tempo ($m s^{-2}$) è l'accelerazione. Il prodotto di kg e $m s^{-2}$ è la forza misurata in Newton. Quando applicato sulla distanza (m), l'aggregato è l'energia, misurata in Joule. Un Joule al secondo ($J s^{-1}$) è un Watt (potenza). La pressione è la forza applicata su un'area ($N m^{-2}$) e viene misurata come Pascal (Pa). La potenza (Watt) per m^2 è la densità di potenza. Nella letteratura scientifica più antica, la pressione era registrata come $dine\ cm^{-2}$ per cui un'unità è 0,1 Pa.

L'ampiezza relativa rispetto a una soglia o un limite è spesso misurata in decibel (db) ed è associata al "volume" o al livello di intensità dell'udito. Il limite per una variazione di pressione meccanica nell'aria per produrre la sensazione di un suono per l'essere umano medio è circa 2×10^{-5} Pa o $\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$. Sulla base della convenzione che il livello di decibel (db) è $20 \log_{10}(P_a / P_t)$, dove P_a è la pressione applicata e P_t è la soglia, il primo valore assoluto per la pressione è 0 db. Il valore db è il logaritmo (base 10) del quoziente moltiplicato per 20. Per una pressione di 2×10^{-3} Pa, il rapporto è 102. Il logaritmo (base 10) di questo è l'apice, 2, quindi il db il livello è 2×20 o 40 db. Quest'ultimo è simile a una conversazione tranquilla in una stanza tranquilla.

Per apprezzare la soggettività dei livelli di pressione sonora, fai cadere un disco di caramelle da 1 g (10-3 kg) (come un "salva respiro") a distanza di un braccio da una distanza di 0,5 m sull'hard top di un tavolo. L'impatto acuto produce un breve livello di pressione sonora percepita (SPL) secondo un misuratore di livello sonoro Radio Shack (ponderazione C) compreso tra circa 60 e 70 db o circa 10^{-2} Pa. D'altra parte, l'energia applicata sulla sottile profondità del tavolo dalla forza che ha generato la pressione sonora sperimentata come 60 db sarebbe nell'ordine di 10^{-6} Joule (μJ). Sebbene questa possa sembrare una piccola quantità di energia dal punto di vista meccanico se fosse energia elettromagnetica, sotto forma di fotoni, l'influenza sarebbe molto significativa. L'energia approssimativa per produrre una percepibile sensazione di luce nell'occhio umano adattato all'oscurità è di circa 10^{-17} J (Woodsworth e Schlosberg 1962). Ciò significa che se l'energia che ha prodotto il breve suono discreto dall'impatto della caramella fosse elettromagnetica entro la lunghezza d'onda visibile, sarebbe sufficiente produrre una sensazione di luce per ogni persona (supponendo che fossero adattati all'oscurità) sul pianeta.

La precisione della descrizione e la previsione delle caratteristiche dei fenomeni dipendono fortemente dalla strumentazione. Come sostenuto in modo convincente da Alves-Pereira (1999) e Costelo Branco e Alves-Pereira (2004), il livello medio di dB visualizzato dalla maggior parte degli

strumenti convenzionali progettati per rilevare la pressione sonora può sottostimare l'energia potenziale totale. Una misura che rifletta la distribuzione in frequenza (spettri) dell'ampiezza media dell'energia acustica presente nell'ambiente, non solo quella che si sente, è essenziale per comprendere l'impatto biocomportamentale.

Le procedure convenzionali indicavano che la pressione acustica media (uditiva) all'interno di un veicolo in movimento era misurata in circa 70 db mentre la pressione acustica totale all'interno della banda delle frequenze critiche nell'ambiente era in realtà di 100 db. Abbiamo misurato, stando in piedi in un corridoio di 25 m al primo piano che continuava nella tromba delle scale di un edificio universitario di 7 piani, fluttuazioni della pressione degli infrasuoni di 70 db (ponderazione C). La ponderazione A tradizionale ha registrato meno di 50 db. Le onde di pressione anomale provenivano da unità di scarico desincronizzate sul tetto che stavano mantenendo la “pressione equilibrata” per il complesso multipiano di cappe chimiche.

Una strumentazione adeguata per discernere l'influenza degli infrasuoni è essenziale. La maggior parte degli ingegneri edili e industriali utilizza le forme di ponderazione A per i misuratori di pressione sonora. Questi corrispondono alla sensibilità dell'udito umano riflessa nella risposta delle cellule ciliate interne. Le misure a spettro completo (non ponderate) richiedono le misurazioni ponderate C che includono le frequenze inferiori. Salt e Kaltenbach (2011) hanno scoperto che le misure ponderate G includono più componenti infrasuoni.

Per dimostrare la notevole sottostima della pressione sonora delle turbine eoliche dalle misure convenzionali, Salt e Kaltenbach (2011) non hanno misurato alcuna pressione sonora con ponderazione A a 10 Hz dai suoni delle turbine eoliche. Tuttavia, con misure pesate C e G e non ponderate Van den Berg 2006, le pressioni sonore a 10 Hz erano di circa 40-60 db. La pressione delle turbine nell'intervallo di 1 Hz è rimasta simile per le misure ponderate C e G ma era di circa 90 db

per la misura completamente non ponderata. Queste pressioni e frequenze sono ben all'interno dell'intervallo sufficiente per stimolare le cellule ciliate interne della membrana basilare e la moltitudine di diverse cavità all'interno del corpo umano. Queste misurazioni indicano che le pressioni sonore inferiori a 10 Hz sono potenti fonti di potenziali stimoli biologici.

I limiti delle misurazioni per un fenomeno che è un aggregato di più componenti spesso riflettono i problemi storici che hanno portato a tali misurazioni. La scala ponderata A è stata progettata per simulare la capacità di filtraggio dell'orecchio umano e per inferire il rischio di potenziali danni a quell'organo. Il suo svantaggio è la sottorappresentazione delle pressioni inferiori a circa 200 Hz, cioè all'interno della gamma di frequenze che comprende la maggior parte della banda classica per gli infrasuoni. La scala ponderata C è stata strutturata per essere un predittore ottimale della sensibilità dell'orecchio ai toni a livelli di pressione sonora relativamente maggiori e include una ponderazione del guadagno più ampia e più o meno uguale da circa 10 kHz a circa 50 Hz. Può essere meno simile al profilo di risposta per l'orecchio, ma può essere più riflettente di esperienze efficaci attraverso altri sistemi di organi. La scala ponderata G può essere meno correlata al volume soggettivo ma è più rappresentativa delle fluttuazioni di pressione che convergono con le proprietà intrinseche della massa umana.

Come riportato da Rohracher (1955), il corpo umano mostra microvibrazioni principalmente tra 6 e 12 Hz sulla sua estensione. Le ampiezze di queste microvibrazioni sono tipicamente comprese tra 1 e 5 μm , sebbene quando i muscoli sono tesi, la variazione da picco a picco può avvicinarsi a 50 μm senza un cambiamento di frequenza. Per riferimento, la larghezza media di un corpo cellulare, come il neurone, è di circa 10 μm . Durante il sonno, l'ampiezza diminuisce a circa la metà del valore di veglia. L'aumento dell'attività tiroidea può essere associato a frequenze leggermente più alte (14 Hz). Le vibrazioni continuano per diverse ore dopo la morte. In confronto, uno spostamento di soli

0,3 μm a 1 kHz per 90 db (0,63 Pa) di pressione sonora si verifica nella membrana timpanica (Cheng ed altri. 2010).

Che i muscoli emettano suoni è noto da secoli. Oster e Jaffe (1980) hanno dimostrato che la frequenza dominante del suono muscolare è compresa tra 22 e 28 Hz con livelli di pressione sonora tra 60 e 70 db. Questa grandezza è circa l'1% dei circa 90 db richiesti per il rilevamento del suono a 25 Hz. Secondo Bruel e Olesen (1973), la soglia è compresa tra 140 e 100 db nella gamma 1–20 Hz. Di conseguenza, la maggior parte delle persone non sentirebbe i propri suoni muscolari a meno che non siano amplificati dalla contrazione direttamente sull'organo più sensibile per distinguere le variazioni di pressione: le orecchie. Per dimostrarlo, solleva i gomiti e poi posiziona i pollici sopra le aperture per le orecchie. Un suono vibrante (circa 20 Hz) viene percepito e diventa più forte quando i pugni sono tesi (i muscoli sono tesi).

Questa banda di frequenza sembra essere composta dalla fusione di un gran numero di unità motorie (fibre muscolari controllate da un singolo neurone) che hanno una frequenza di contrazione fondamentale di 7 ± 1 (6-8) Hz. Brozovich e Pollack (1983) hanno dimostrato che i suoni dei muscoli sartoriosi delle ragnelle venivano emessi durante l'accorciamento o l'allungamento. La durata dei suoni dei muscoli era di $400 \pm 5 \mu\text{s}$ e veniva visualizzata ogni 20-40 ms. Questa durata μs è notevolmente congruente con la durata del picco del potenziale d'azione mentre si muove lungo gli assoni. Una stima calcolata per la pressione sonora dal picco di potenza acustica di circa 2 mW dai cambiamenti nella massa muscolare studiata era di circa 0,2 Pa o poco più di 80 db.

Considerando il potente accoppiamento (Whitman e altri.2013) tra le bande di frequenza di circa 7 Hz e circa 40-45 Hz (intervalli di 20-25 ms) che mediano le informazioni tra la formazione dell'ippocampo in profondità nei lobi temporali e la sua rappresentazione all'interno delle cortecce cerebrali Holz e altri. 2010), questa particolare congruenza delle oscillazioni è direttamente rilevante

per le sottili influenze degli "infrasuoni" sulla coscienza e sulla "memoria" degli eventi. Può essere rilevante che la temporizzazione parallela tra i livelli del discorso sembri definire i sistemi biologici da una prospettiva fisica. Ad esempio, il tempo necessario per impilare un nucleotide su una sequenza di DNA sintetizzante nel nucleo di una cellula è di circa 20-25 ms o tra 40 e 45 Hz e coinvolge circa 10-20 J di energia. L'accesso all'influenza sulla sintesi dell'ordine strutturale della sequenza del DNA ha il potenziale per aumentare la probabilità di modificazioni genetiche.

Il fatto che il corpo umano è una struttura fisica che esibisce risonanze meccaniche così come le emissioni di energia elettromagnetica dal metabolismo del glucosio durante lo stato di riposo (circa 100 W m^{-2}) e fotoni (circa $10^6 \text{ fotoni m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sottolinea l'importanza dei fenomeni di risonanza da una pletora di sorgenti esterne. Quando è coinvolta la risonanza, la grandezza assoluta di "quanto è forte" lo stimolo è meno importante del modello di frequenza e del ristretto intervallo di congruenza per l'intensità delle vibrazioni intrinseche ed estrinseche. I fenomeni di risonanza consentono a stimoli relativamente deboli che sono temporalmente e spazialmente congruenti con il sistema di interagire e influenzare in modo significativo la stabilità del sistema. In questo caso, l'unità fondamentale è la cellula.

Poiché il corpo umano non è un semplice oscillatore ma una forma d'onda complessa, organi e volumi differenti hanno soluzioni di risonanza differenti. All'interno di un ambiente naturale complesso a cui si sovrappone la sorgente della civiltà moderna, si verifica un campo emergente di stimoli composto da battiti e armoniche. Un battito è una frequenza che emerge dalla sottrazione di due forme d'onda che non è essa stessa generata direttamente. Ad esempio, la generazione simultanea di un'onda sonora di 1.000 e 1.010 Hz è associata alla presenza di una terza onda "emergente", 10 Hz, che è la sottrazione delle due. Un metodo per estrarre le "vibrazioni" più accurate e fisicamente rilevanti generate all'interno del corpo e dell'ambiente esterno potrebbe essere quello di utilizzare analisi degli spettri. Questa potente tecnica mostra la potenza relativa o

le distribuzioni di pressione attraverso incrementi di frequenze e può rivelare il recondito modello "critico" di frequenze attraverso il quale possono verificarsi interazioni tra le energie miste all'interno dell'ambiente sonoro ed elettromagnetico e i diversi luoghi all'interno del corpo umano. Le opzioni di analisi degli spettri sono ora i componenti di routine della maggior parte dei pacchetti e dei programmi statistici per personal computer.

La velocità del suono nell'aria a temperatura e pressione standard è di circa 344 m s. All'interno dell'acqua o dell'acciaio, questo valore è rispettivamente circa 1.480 e circa 5.600 m s. La differenza generale nella velocità del suono tra l'acqua di mare e l'acqua distillata è compresa nell'intervallo della velocità di un potenziale d'azione lungo un assone. La velocità degli infrasuoni, dati gli stessi parametri fisici di temperatura e pressione nell'aria, è la stessa del suono normale. Ci sono anche onde di pressione, ad esempio del vento, che si muovono a velocità inferiori.

Per frequenze comprese tra 20 Hz e 2 kHz, le variazioni di pressione associate influenzano la membrana timpanica. Per gli esseri umani, questo aggregato specializzato di cellule è di circa 0,9 per 0,8 cm con uno spessore di 80 μm , risultando in un volume di circa $6 \times 10^{-9} \text{ m}^3$. La propagazione dei cambiamenti energetici dalla vibrazione di questa membrana alla membrana basilare all'interno della coclea e infine attraverso una moltitudine di complesse connessioni sinaptiche tra il tronco encefalico e la corteccia uditiva si traduce in esperienze multidimensionali del suono.

Secondo le interpretazioni tradizionali, l'altezza è l'esperienza psicologica della frequenza della pressione sonora e riflette la posizione dell'accoppiamento energetico lungo la membrana basilare. La stimolazione più vicina alla finestra ovale viene percepita come un passo più alto rispetto alla stimolazione della membrana più distalmente. Questa vicinanza è la ragione principale dell'esposizione prolungata a fluttuazioni di pressione molto forti $> 110 \text{ db}$, che possono danneggiare le regioni adiacenti della membrana basilare e possono produrre una perdita dell'udito permanente

nella gamma delle frequenze più alte. La sonorità riflette lo spostamento dalla “verticale” dell'organo di Corti. Sono i filamenti filiformi (ciglia) contenenti actina che si estendono nel fluido viscoso circostante. Alla soglia per percepire un sussurro, lo spostamento dell'aria all'interno dell'orecchio è la larghezza approssimativa di un atomo di idrogeno. Alla soglia del dolore, lo spostamento è circa il diametro di una cellula (Cameron e altri. 1992).

Le esperienze sonore possono verificarsi senza un udito funzionale. Profondamente, i partecipanti sordi esposti a pressioni sonore molto forti hanno riportato esperienze di vertigini, dolore e vibrazioni nell'intervallo da 200 Hz a 1 kHz (Ades e altri. 1958). Le energie meccaniche a bassa frequenza (<40 Hz) hanno la capacità di influenzare i canali semicirculari (principalmente associati all'equilibrio), il sistema otolito, il torace e le cavità addominali e l'intero corpo. Le tre coppie di canali semicirculari e le strutture degli otoliti sono più sensibili alle frequenze degli infrasuoni intorno ai 7 Hz (Evans e Tempest 1972). Questi canali otoliti e semicirculari sono particolarmente sensibili rispettivamente all'accelerazione lineare e angolare della testa. Poiché le cellule ciliate degli organi vestibolari sono più sensibili alle frequenze inferiori a circa 30 Hz, le esperienze potrebbero non essere identificate come "suono" ma potrebbero essere articolate come "pressioni" non specifiche di tutto il corpo, effetti vestibolari, "stranezza", ondeggiamento (piuttosto che rotazione) o disagio generale.

Che una regione specifica del cervello umano risponde agli infrasuoni è stato chiaramente dimostrato da Dommes e altri. (2009). Hanno esposto volontari sani a brevi raffiche di infrasuoni e suoni a bassa frequenza a 12, 36, 48 e 500 Hz erogati attraverso il canale uditivo durante le misurazioni fMRI (risonanza magnetica funzionale). Notevoli aumenti dell'intensità del segnale all'interno delle cortecce temporali controlaterali che includevano le regioni primarie e interpretative (secondarie) dalla stimolazione uditiva si sono verificate sopra i 70 db per gli stimoli a 36 Hz e sopra i 90 db per gli stimoli a 12 Hz.

La ricerca superlativa di Salt e Hullar (2010) sottolinea l'importanza di comprendere le caratteristiche tecniche della microanatomia dell'orecchio interno. La coclea è una serie di spazi cilindrici pieni di liquido che si muovono a spirale attorno al nervo uditivo e sono sensibili ai cambiamenti di pressione differenziale. La membrana tra gli spazi, l'organo di Corti, contiene una fila di cellule ciliate interne e tre file di cellule ciliate esterne. Queste ultime cellule mostrano stereocilia con lunghezze variabili. Alcune di queste ciglia sono incorporate nella membrana gelatinosa sovrapposta. A basse frequenze, le cellule interne rispondono alla velocità di spostamento della membrana basilare mentre le cellule esterne rispondono allo spostamento effettivo.

Come ci si aspetterebbe dal classico principio "la struttura detta la funzione", i due tipi di cellule entrano in contatto con diversi tipi di fibre afferenti. Circa il 95% delle fibre che trasmettono impulsi che saranno sperimentati come "udito" sono mielinizzate con una fibra a contatto con una cellula ciliare interna. D'altra parte, un altro tipo di fibra nervosa, che non è mielinizzata, sinapsi con un numero di cellule ciliate esterne. Si presume che queste fibre non rispondano al suono. A differenza delle cellule ciliate interne, c'è anche un input discendente dal cervello. Salt e Hullar (2010) hanno dimostrato che a 5 Hz le cellule ciliate esterne possono essere stimulate a pressioni sonore di 40 db inferiori a quelle che stimolano le cellule ciliate interne associate all "'udito cosciente". In alternativa, a 10 Hz, il livello di pressione sonora richiesto per evocare risposte nelle cellule ciliate interne per sperimentare il "suono" è di circa 100 db. Le cellule ciliate esterne rispondono intorno ai 60 db o circa al livello di una conversazione solo le informazioni sarebbero "inconsce".

La disposizione è analoga alle aste e ai coni dell'occhio. Questi due sensori mediano le informazioni percepite come esperienze visive qualitativamente diverse. Più bastoncelli sinapsi con una fibra mentre di solito solo un cono è associato a una fibra. Le aste sono più sensibili alle frequenze più

basse di stimolazione dello sfarfallio rispetto ai cono. Inoltre, vi è una rappresentazione aggiuntiva delle informazioni visive all'interno delle regioni del cervello (il lobo temporale) diverse dalle cortecce visive primarie. Sulla base delle caratteristiche della "sindrome della turbina", un candidato per l'"altra" destinazione dell'input cocleare dalle cellule ciliate esterne sarebbe l'interfaccia tra l'insula e la superficie mediale del giro trasverso (di Heschl) dove l'udito primario è sperimentato ma non riconosciuto; quest'ultima interessa aree secondarie adiacenti. Sebbene le rappresentazioni dell'insula degli organi interni siano note da decenni, misurazioni più contemporanee hanno verificato il suo forte contributo all'esperienza della coscienza, al rilevamento degli errori e alla salienza di uno stimolo (Klein e altri. 2013).

Ci sono due prospettive per misurare le complesse influenze dall'ambiente. Possono essere misurati come pressione o energia, una dualità simile a quella di massa ed energia. Le pressioni di fluttuazione richieste per indurre la sensazione dell'udito nella maggior parte delle persone sono minime di circa 1–2 kHz. Il riferimento per questo valore è 2×10^{-5} Pa (Newton per metro quadrato) o 0 db. La densità di potenza di riferimento richiesta a 1 kHz per la rivelazione di un suono è considerata, per convenzione, essere 10^{-12} W m⁻².

Il livello di pressione sonora dall'energia in db è $10 \times \log_{10}$ del rapporto tra "intensità" applicata e "intensità" di riferimento ($I_a \times I_{-1ref}$). L'equivalenza approssimativa tra db, pressione e densità di energia per vari fenomeni è mostrata nella Tabella 1. Come giustamente affermato da Duck (2007), $I_{(ref)} = 10^{-12}$ W m⁻² nell'aria. Un aumento dell'intensità sonora di un fattore 2 equivale a un aumento del livello di pressione sonora di 3 db mentre un raddoppio della pressione acustica (Pa) aumenta i livelli di pressione sonora di un incremento di 6 db. Per confronto, la densità di potenza elettromagnetica all'interno di un tipico domicilio (non adiacente alle torri a microonde) è compresa tra 10^{-6} e 10^{-4} W m⁻². Quando viene attivata un'unità di cottura a microonde standard (2,45

GHz), le densità a 0,5 m aumentano a circa 1 W m^{-2} . A una distanza di 4 m, il valore è ancora il doppio di quello dello sfondo.

Potrebbe essere utile comprendere i meccanismi o processi per le basi fisiche per la soglia di $20 \mu\text{Pa}$ per l'udito. L'essere umano è un sistema fisico (Persinger 1980) che può essere definito come un volume di sospensioni colloidali (acquose) circondato da un confine semipermeabile (la pelle) e rinforzato da sali di calcio (ossa). Le soglie per la rilevazione di forze ed energie dovrebbero essere determinate da questi componenti. Di conseguenza, non sorprende che il prodotto per la densità dell'acqua (103 kg m^{-3}) e il quadrato della moltiplicazione dello spostamento di Rohrer medio ($5 \times 10^{-6} \text{ m}$) e la sua variazione mediana intrinseca (10 Hz o s^{-1}) è circa $2,5 \times 10^{-6} \text{ Pa}$. Se le pressioni fossero maggiori, potremmo potenzialmente iniziare a "sentire" o almeno "sentire" le vibrazioni del nostro corpo.

Per 100 volte il valore di soglia, o $2 \times 10^{-3} \text{ Pa}$, $20 \mu\text{Pa}$, il livello di decibel è 40. Questo è il livello di conversazione silenziosa. Per una pressione sonora di 1 Pa , il valore associato sarebbe 100 db, che è un suono molto forte che si avvicina al disagio (Kryter 1970). Per confronto, la pressione barometrica media dall'atmosfera è circa 101 kPa . Ciò significa che la soglia per sentire un sussurro dalle variazioni di pressione nell'intervallo 1–2 kHz è circa 10 miliardi di volte meno intensa della pressione più o meno costante dall'atmosfera. Tuttavia, non "sentiamo" l'atmosfera. L'udito richiede uno schema di frequenze e la presenza di una struttura corporea per trasformare quelle pressioni nelle energie dei neuroni che le rappresentano nell'esperienza cosciente.

Le soglie per l'"udito" aumentano (è necessaria una pressione maggiore) per le frequenze inferiori e superiori alla gamma 1–2 kHz. Per le frequenze inferiori a 100 Hz, le fluttuazioni di pressione aumentano di un fattore 104. Pertanto, possono essere necessari 80 db per l'esperienza del suono, che è nella stessa gamma di pressioni fluttuanti prodotte da alcuni dei componenti di frequenza

delle turbine eoliche. Queste pressioni potrebbero influenzare l'attività cerebrale all'interno dei lobi temporali anche senza consapevolezza, in particolare quando le altre pressioni del suono ambientale sono minime. Ciò non indica che le frequenze inferiori a 100 Hz non influenzino il comportamento umano. Gli effetti non sarebbero vissuti come suoni o sarebbero influenti senza consapevolezza.

La comunicazione cellulare opera attraverso quanti di energie che possono essere mediate da molecole o schemi elettromagnetici intrinseci inclusi i fotoni visibili (Dotta e altri.2011; Popp e altri 1988; Sun e altri.2010). Esistono diversi rapporti classici tra pressione ed energia. L'esempio più comune è il prodotto della pressione ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$) e del volume (m^3). Alla soglia ($2 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$) della sensazione uditiva a 1 kHz, l'energia associata nel volume della membrana timpanica umana (circa $6 \times 10^{-9} \text{ m}^3$) è circa 10^{-13} J .

Supponendo che la cellula media che compone la membrana timpanica mostri un diametro di $10 \mu\text{m}$ e la densità tipica delle cellule nel tessuto, ci sarebbero circa $6,5 \times 10^6$ cellule. Ciò significherebbe che la soglia per sentire l'energia per cellula sarebbe di circa 10^{-20} J . L'intervallo di tempo implicito è di un secondo. Questa è la gamma specifica di energia associata al potenziale di membrana a riposo delle cellule, i potenziali d'azione digitali dei neuroni che sono il substrato per il trasferimento di informazioni all'interno dello spazio cerebrale e i quanti richiesti per sequestrare i ligandi a specifici siti recettoriali (Persinger 2010). Circa 10^{-20} J è anche il quanto di energia coinvolto con il sequestro di 1 base nucleotidica entro 1 ms (la durata di un potenziale d'azione) su un nastro di RNA di sintesi. La sequenza di questo sistema digitale di coppie di basi determina il tipo di proteina che viene sintetizzata all'interno del tessuto e, in definitiva, la sua struttura e funzione. Per questa stima, non sono stati considerati i parametri di elasticità delle fibre di collagene e di altri costituenti all'interno della membrana.

L'importanza della membrana plasmatica cellulare diventa evidente quando si apprezza che costituisce solo circa 1% del volume della cellula e le cellule costituiscono circa il 50% del volume totale. Dei circa 10-13 J che si verificano all'interno dell'intera membrana timpanica, solo circa 10-3 di esso sarebbero distribuiti all'interno della membrana plasmacellulare. La costanza di 10-16 J per s all'interno del volume minuto della membrana cellulare divisa per l'area della sezione trasversale della membrana timpanica (10^{-4} m^2) risulta in una densità di potenza nell'ordine di $10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Questo approccio suggerisce che questa soglia, calcolata anche con altri metodi, è fortemente associata alle proprietà della membrana plasmacellulare. Questi valori stimati ribadiscono che pressioni molto piccole e le loro concentrazioni all'interno di un volume molto piccolo possono essere associate a energie le cui grandezze mediano l'attività molecolare e le vie di segnalazione di ogni cellula del corpo (Persinger 2010).

Che l'energia non viene né creata né distrutta ma invece cambia forma indica la potenziale interazione tra sorgenti meccaniche ed elettromagnetiche. Ad esempio, l'emissione di fotoni dal lato dell'emisfero destro del cervello durante i periodi di immaginazione della luce bianca mentre si è seduti nella completa oscurità è di circa $10^{-11} \text{ W m}^{-2}$ (Dotta e altri. 2012). Questo è lo stesso ordine di grandezza della luminescenza "ultraweak" emessa da fettine di tessuto dell'ippocampo (cervello), la "porta" della memoria (Isojima e altri. 1995). Supponendo che l'area della sezione trasversale del lato del cervello umano sia di circa 10^{-2} m^2 , ciò significa che l'energia associata alla vivida immaginazione è di circa 10-13 J, che è lo stesso ordine di grandezza dell'energia associata alla soglia per l'esperienza "uditiva". Per confronto, il livello di fondo tipico delle energie da sorgenti extraterrestri di raggi cosmici (principalmente protoni) così come la radiazione del suolo da sorgenti naturali è circa $10^{-13} \text{ W m}^{-2}$ (Konig e altri. 1981).

L'esperienza del disagio e del dolore sono fenomeni psicologici generati all'interno delle cortecce cerebrali. Gli stimoli associati a queste sensazioni spesso provocano danni ai tessuti e ai suoi

costituenti, le cellule. Un'eccezione sarebbe la radiazione ionizzante in cui un dosaggio fatale non è sempre "sperimentato" al momento dell'esposizione. In situazioni normali, come quando una persona si rompe il dito, non c'è "dolore" al dito, anche se potrebbe esserci un danno ai tessuti. Il dolore è l'esperienza associata a modelli specifici di attività corticale all'interno dei lobi parietali dove si sovrappongono gli input dalle parti del corpo esterno o all'interno dell'insula dove è rappresentato l'input dagli organi interni. L'insula è una struttura principale del cervello associata all'apprendimento viscerale avversivo. Questo tipo di apprendimento spesso richiede solo una prova o associazione per essere acquisita e non dimenticata. Questa è una considerazione importante per le persone che vivono in prossimità di dispositivi costruiti per i quali stimoli associati, come il loro movimento, forma o presenza, potrebbero diventare stimoli condizionati.

Le esperienze di dolore sono anche associate ad attività alterata nel cingolo anteriore della stessa regione che è associata al legame emotivo, alla sensazione di benessere e alle risposte cerebrali ai cambiamenti "inconsci" nell'ambiente. Ciò che determina le rappresentazioni di questi sottili schemi neuronali all'interno della consapevolezza cosciente è influenzato da fattori cerebrali complessi designati in modo approssimativo come "personalità". L'organizzazione cerebrale che è più frequentemente influenzata da lievi lesioni alla testa chiusa, precedenti episodi di breve ipossia o qualsiasi condizione che diminuisca la funzione degli interneuroni inibitori con le cortecce cerebrali può influenzare la sensibilità al normale input sensoriale. Questa è una conseguenza importante perché lo stato predefinito della funzione cerebrale è inibitorio, come riflesso dalla proporzione prominente di neurotrasmettitori di inibizione. L'"eccitazione", che si traduce nella visualizzazione di un comportamento palese, implica l'inibizione di questa inibizione.

La fonte del danno tissutale da fluttuazioni di pressione molto grandi è principalmente correlata alla rottura delle forze coesive tra le cellule che organizzano il tessuto all'interno di un organo. Secondo Bershadsky e altri. (2003), le tipiche forze coesive tra le cellule (come fibroblasti, miociti e

muscolatura liscia) del corpo sono nell'ordine di $2-10 \times 10^{-9}$ N per μm^2 o $\text{nN } \mu\text{m}^{-2}$. Ciò equivale a tra 103 e 104 N m⁻² o 1–10 kPa o tra 180 e 200 db. A seconda della frequenza e dell'accoppiamento di risonanza, le forze torsionali dalle pressioni sonore applicate sarebbero sufficienti per interrompere le forze coesive intercellulari tra le cellule. Poiché le molecole coesive che mediano queste forze sono effettivamente incorporate nella membrana cellulare, anch'esse verrebbero interrotte. La successiva apertura dei canali della membrana e la perdita del potenziale della membrana cellulare contribuirebbero alla morte cellulare. Cellule frammentate sono state trovate in tessuti di soggetti umani esposti a infrasuoni > 120 db. L'esposizione di organelli intracellulari liberi al sistema immunitario può contribuire allo sviluppo di malattie autoimmuni. Lesioni mortali possono essere inflitte a interi organismi a 200 db (Brown 1973), il che probabilmente rifletterebbe il taglio delle forze di trazione e delle molecole di adesione.

Per riferimento, l'onda di pressione di un materiale esplosivo, come il classico trinitrotoluene (TNT), mostra una velocità di denotazione compresa tra $1,8 \times 10^3$ e 8×10^3 m s⁻¹. Con una densità dell'aria di $1,3 \text{ kg m}^{-3}$ e il quadrato della velocità più lenta, la pressione all'interno del volume di un essere umano di 70 kg sarebbe compresa tra 10 e 100 MPa o circa 1.000 volte maggiore della pressione barometrica statica. Quando è presente come un breve scoppio, la pressione è sufficiente per superare le forze coesive intercellulari tra le cellule. La forza rimanente viene tradotta nel rapido movimento di separazione.

Sebbene pressioni estreme sulla superficie della cellula ne interrompano l'integrità, l'idea di Ingber (2003) che la meccanotransduzione di energie molto piccole contribuisca in modo significativo alla segnalazione cellulare è più rilevante per le esposizioni più frequenti a livelli ambientali di infrasuoni. L'integrità della resistenza alla trazione di una cella bilanciando le forze di compressione discontinue con la tensione continua indica che le perturbazioni locali producono una ridistribuzione organizzata delle forze in tutta la struttura della cella. Quando le forze coesive tipiche di 10^{-9} N vengono

applicate in modo specifico sulla larghezza tipica di un atomo di idrogeno, l'energia si avvicina all'intervallo di 10-20 J. Questo è un quanto fondamentale di energia attraverso il quale l'informazione è mediata attraverso percorsi cellulari.

Un campione delle varie origini degli infrasuoni, nonché i loro intervalli di frequenza e le pressioni medie sono riassunti nella Tabella 1.

I moti turbolenti nell'aria producono fluttuazioni di pressione che riflettono grossolanamente il prodotto della densità dell'aria (ρ) e il quadrato della velocità (Cook e Young 1962). Per 10 km all'ora ($2,7 \text{ m s}^{-1}$), la pressione è di circa 10 Pa. Per 40 km all'ora ($11,1 \text{ m s}^{-1}$), le variazioni di pressione "casuali" sarebbero 160 db. La velocità del vento di solito non è costante ma varia in modo tale che le fluttuazioni casuali della pressione (Δv) siano descritte in modo più ottimale da $\rho v \Delta v$. Se il vento variava irregolarmente tra 20 e 25 km all'ora, le fluttuazioni casuali sarebbero di circa 10 Pa. Durante una minima "brezza" distinguibile, $0,5 \text{ m s}^{-1}$, la pressione sarebbe dell'ordine di 1 Pa. Frequenti sorgenti di infrasuoni le pressioni variano da 0,01 a 5 Pa. Di conseguenza, gli infrasuoni sarebbero meno mascherati dalle pressioni del vento nei giorni o nelle notti molto tranquille (Tabella 2).

I microsismi mostrano frequenze comprese tra circa 0,1 e 1 Hz con ampiezze comprese tra 1 e 20 μm lungo la costa occidentale dell'Europa durante le masse d'aria a bassa pressione sull'oceano adiacente. L'ampiezza è compresa nell'intervallo visualizzato dalle vibrazioni naturali del corpo intero. La pressione equivalente approssimativa nell'aria sarebbe la sua densità moltiplicata per il quadrato dell'ampiezza dello spostamento e la frequenza o tra 10^{-7} e circa 10^{-5} Pa. Tuttavia, in acqua (10^3 kg m^{-3}), il principale costituente umano organismi, le ultime onde di pressione a 1 Hz sarebbero circa 0,01 Pa o, utilizzando 20 μPa come soglia, circa 60 db. Questo potrebbe essere fisiologicamente efficace ma non percepito come un suono. Ci sono anche sorgenti molto transitorie

come durante l'attività aurorale (Wilson 1973) e il passaggio di meteore attraverso l'atmosfera (ReVelle 1975).

Cook e Young (1962), misurando da Washington D.C., riportarono robusti infrasuoni con periodi compresi tra 20 e diverse centinaia di secondi che arrivavano da nord-est a nord-ovest a seconda dell'ora della notte. Hanno mostrato ampiezze di circa 0,3 Pa con escursioni occasionali a 1 Pa entro circa 5-6 ore dall'aumento dei valori di Kp di 6 o superiori. Un valore Kp è un indice di tipo logaritmico dell'attività geomagnetica globale. I valori quantitativi superiori a 6 sarebbero equivalenti a variazioni > 67 nT nella componente più disturbata del campo magnetico terrestre alle medie latitudini e sarebbero tipici di una "tempesta geomagnetica" minore. La durata media degli infrasuoni potenziati era di 6 ore con un intervallo compreso tra 1 e 24 ore.

Le sorgenti distali dei vulcani a circa metà della circonferenza terrestre in distanza (Goerke e altri. 1965) e i sistemi meteorologici di passaggio severo (Goerke e Woodward 1966) sono anche potenti sorgenti di infrasuoni. A seconda della topografia locale, il vento che si muove attraverso un bacino composto da superfici irregolari può generare infrasuoni sostanziali, che sono facilmente misurabili. Ad esempio, il nostro eliocorder (sismografo) RV-301 il cui sensore è fissato (Persinger e altri. 2012) nel substrato roccioso all'interno del seminterrato dell'edificio aula registra periodicità irregolari tra 0,5 e 1 Hz quando la velocità del vento supera circa 25 km / h. Queste perturbazioni sincrone visualizzano durate comprese tra 1,5 e 15 s con ampiezze di ± 1 mm rispetto alla tipica variazione di linea regolare di $\pm 0,5$ mm nei giorni senza vento.

Come discusso da Stephens (1969), gli infrasuoni ad alta intensità possono essere prodotti da motori diesel o sistemi di riscaldamento e ventilazione convenzionalmente progettati negli edifici moderni. Ad esempio, molte stanze all'interno dell'università dell'autore, in particolare dopo "adeguamenti" e "ristrutturazioni", hanno prodotto variazioni di pressione degli infrasuoni che hanno superato i 90

db durante il flusso d'aria di massa dell'intero edificio. I motori degli aerei sono una potente fonte di infrasuoni e di rumore a bassa frequenza superiore a 120 db su un ampio spettro (Alves-Pereira e Castello Branco 2007a, b). Grandi oggetti artificiali come navi e aeroplani possono comportarsi come oscillatori intrinseci degli infrasuoni. Gli esperimenti e le apparecchiature costruite da Gavreau (1968) e dai suoi colleghi (Gavreau e altri. 1966), che hanno prodotto onde infrasuoni "pure" estremamente potenti (kW), sembrano essere state dimenticate. Le loro influenze avverse descritte come "assassini silenziosi" furono discusse da Dunning (1968).

Modern wind turbines

Le moderne turbine eoliche, a causa delle loro dimensioni (altezza) e velocità di rotazione, hanno la capacità di generare intensità significative di infrasuoni con forme d'onda e armoniche complesse. Ipotizzando una velocità di rotazione (che può cambiare con la velocità del vento di guida) di 14 rotazioni al minuto (0,24 Hz moltiplicato per tre pale = 0,72 Hz), il livello di pressione relativa a circa 100 m di distanza è di circa 50 db all'esterno di una tipica casa di mattoni e circa 45 db all'interno dell'abitazione. A determinate frequenze, come circa 7–8 e 40–45 Hz, l'ampiezza dei componenti di vibrazione all'interno e all'esterno della casa potrebbe non differire. Proporzioni significative di pressione acustica sono contenute all'interno delle frequenze armoniche per questa rotazione, ad esempio, con incrementi di circa 1 Hz. Alcuni esperti ingegneri acustici hanno rilevato specifiche "impronte" acustiche da specifiche turbine eoliche a decine di chilometri dalla sorgente. La stabilizzazione delle strutture nel substrato roccioso sotterraneo aumenta le probabilità di trasmissione a lunga distanza.

La frequenza tra 1 e 4 Hz, la gamma delta per le onde cerebrali (misure elettroencefalografiche), è quella coinvolta con le onde lente (sonno profondo). Le interruzioni di questo sonno, in particolare durante le prime circa 5 ore del ciclo del sonno, possono influenzare il rilascio notevolmente

sincronizzato di ormoni e proteine che facilitano la riparazione dei tessuti e la normale omeostasi. L'energia disponibile dalle fluttuazioni di pressione all'interno di un volume cerebrale umano di 10^{-3} m³ sarebbe equivalente a 10^{-6} J. Supponendo che ogni neurone utilizzi circa un pJ di glucosio al secondo, l'energia dell'onda di pressione fluttuante sarebbe sufficiente per compensare per o aumentare l'attività di circa un milione di neuroni che erano più attivi in quel momento. Il numero di neuroni coinvolti con i nuclei centrali del tronco cerebrale che controllano il sonno a onde lente rientra in questo intervallo. Concentrazioni mantenute e ridotte nel tronco cerebrale di serotonina (e noradrenalina) sono associate ad una maggiore incidenza di depressione.

Una recente revisione di Salt e Kaltenbach (2011) ha descritto i valori registrati da diversi ricercatori per i livelli di infrasuoni tra circa 150 e 750 m da turbine con altezze del mozzo di 62 e 36 m di lunghezza delle pale. Lo spettro sonoro era dominato da frequenze inferiori a 10 Hz. Nell'intervallo di 1 Hz, i livelli di pressione sonora erano superiori a 90 db quando sono state effettuate misurazioni non ponderate. Queste grandezze sono state associate agli infrasuoni impercettibili piuttosto che ai suoni intermittenti di "swooshing" che sono più evidenti. Gli autori hanno sottolineato il fatto che le persone che vivono vicino a queste turbine potrebbero essere esposte 24 ore al giorno per settimane che si estendono per anni.

L'infrasuono mostra due proprietà che influenzano la sua rilevanza biologica. Innanzitutto, la sua dissipazione non è lineare vicino alla sorgente. Durante la prima guerra mondiale, il suono del fuoco dei cannoni mostrava un raggio di circa 100 km e oltre 200 km. Tra i 100 e 200 km c'era spesso silenzio. Questo fenomeno è dovuto alla riflessione delle onde sonore da strati d'aria riscaldati nell'atmosfera superiore dove la velocità è maggiore del livello del mare (Cook 1962). Questa distanza (altezza) è circa 50 km dove si verifica la maggior parte del forte assorbimento di energia ultravioletta. L'onda stazionaria sarebbe circa 6,6 mHz, o entro la gamma delle oscillazioni libere della terra (Nishida e altri. 2000).

L'assorbimento degli infrasuoni nell'aria è molto inferiore rispetto ai suoni udibili. I calcoli di Cook (1962) indicano che per un periodo di 10 s (0,1 Hz), l'assorbimento può essere di circa 2×10^{-9} db per km. Di conseguenza, la perdita dovuta agli assorbimenti nell'aria da vincoli quali viscosità e conduzione del calore non è significativa e la propagazione può continuare per migliaia di chilometri a livello del mare. Effettivamente anche quando sono presenti concentrazioni tipiche di vapore acqueo, la perdita di energia è inferiore all'1% anche dopo aver propagato a metà terra.

Rapporti di "brontolii" a frequenza molto bassa e "suoni come enormi macchinari" apparentemente originati da sotto i piedi dell'osservatore che disturbano il sonno e influenzano negativamente la qualità della vita si sono verificati in modo intermittente per almeno un secolo (Persinger e Lafreniere 1977). Negli anni '60 furono attribuiti agli esperimenti di "laser acustico" di Gavreau in Francia. Recentemente, a Taos, New Mexico, è stata segnalata la presenza di ronzii persistenti, approssimativamente a "40 Hz" e suoni fastidiosi apparentemente originati da direzioni non specifiche o da luoghi "sotterranei"; Windsor, Ontario; Calgary, Alberta; Bristol, Inghilterra. Sebbene le origini siano spesso attribuite a un'industria locale, le fonti effettive non sono chiare. I fenomeni a volte mostrano variazioni diurne; altre volte, le ampiezze diminuiscono o aumentano senza l'evidenza delle periodicità classiche. Ci sono anche sorgenti di infrasuoni che sembrano provenire dalle montagne locali (Rockaway e altri. 1974).

Le origini inaspettate di sorgenti pervasive di infrasuoni suggeriscono che l'innovazione e l'esplorazione di tutte le possibilità dovrebbero almeno essere considerate. Ad esempio, se si presume che il volume di tutti gli oceani terrestri sia circa $1,3 \times 10^{18}$ m³, l'energia magnetica immagazzinata al loro interno dall'intensità media del campo magnetico terrestre (circa 5×10^{-5} T) sarebbe circa $1,3 \times 10^{15}$ J. Il numero di molecole d'acqua in questo volume d'acqua sarebbe $(1,3 \times 10^{18} \text{ m}^3) \cdot (10^3 \text{ L m}^{-3}) \cdot (5,56 \cdot 10^{22} \text{ ML}^{-1}) \cdot (6,023 \times 10^{23} \text{ molecole per M})$ o circa $4,35 \times 10^{46}$

molecole. Di conseguenza, ci sarebbero 3×10^{-32} J per molecola d'acqua. La variazione temporale dell'energia intrinseca si ottiene dividendo questo valore per la costante di Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J s), una caratteristica essenziale dei fenomeni quantistici. La frequenza risultante è circa 45 Hz.

Che le persone che vivono in aree dove ci sono venti persistenti mostrano sintomi medici specifici è stato osservato sin dagli antichi greci. L'aumento della pressione degli infrasuoni durante il tempo inclemente è risultato essere un forte correlato di "malattia" per i residenti di un ospedale di 16 piani in Danimarca quando soffiava il vento (Bruel e Olesen 1973). All'interno di grandi strutture, come alcuni edifici universitari nel campus dell'autore, dove il retrofit richiedeva lo spostamento di grandi volumi d'aria attraverso sistemi di condotti lunghi e multipiano con diametro inferiore a quello ottimale, gli infrasuoni influiscono sull'"attrattiva" della stanza. L'effetto emerge dopo circa 1 ks di seduta e ascolto delle lezioni. Una stanza attraverso la quale venivano generate vibrazioni da motori di riscaldamento sbilanciati e sovradimensionati incorporati nel pavimento per il corridoio sottostante era associata a conflitti e comportamenti emotivi insoliti e frequenti all'interno della classe. Quando i motori furono disattivati, i comportamenti sociali anomali cessarono. Le sensazioni riportate di "vicinanza a disagio" e la diminuzione del tempo di utilizzo di questi piani o stanze suggeriscono fortemente la natura avversiva.

Green e Dunn (1968) hanno correlato i giorni con intensi disturbi degli infrasuoni e le percentuali di incidenti automobilistici e assenteismo nei bambini in età scolare per circa 1 mese durante il 1967. Le correlazioni per entrambe le associazioni erano circa 0,5, il che indica che le due variabili condividevano circa il 25% della loro varianza. Questo è un effetto molto ampio per uno stimolo ambientale così "sottile". I disturbi addominali sono stati associati a "suoni" di 30-40 Hz, che sono stati focalizzati all'interno di aree di circa 10 km di diametro durante i periodi di inversioni di temperatura sotto la corrente a getto durante le prime ore del mattino di giorni freddi.

L'identificazione della malattia vibroacustica o della sindrome vibroacustica (Alves-Pereira e Castelo Branco 2007) tra le popolazioni che lavorano all'interno delle industrie aeronautiche avviene con uno specifico modello e ampiezza di infrasuoni e suoni a bassa frequenza. I sintomi più comuni erano sensibilità al suono, depressione, irritabilità, preferenza per essere socialmente isolati, capacità cognitive ridotte, episodi di disturbi del sonno di vertigini e tachicardia improvvisa intermittente.

Nella mia esperienza clinica (Persinger 1993), questa raccolta di sintomi, incluso il "panico", è notevolmente simile ai pazienti clinici che sono stati inviati per una valutazione neuropsicologica a seguito di lesioni alla testa chiusa (effetti concussivi) senza perdita formale di coscienza da una o più improvvise impatti di forze meccaniche sul corpo e sul cranio da collisioni veicolari o vicinanza a esplosioni (Gorham e Persinger 2012). Una delle premesse fondamentali della pratica clinica in quest'area è che ripetuti impatti concussivi "lievi" producono effetti cumulativi avversi su cognizione, affetto e invecchiamento (Persinger 1995). La depressione prolungata per la quale non c'è sollievo aumenta la probabilità di suicidio.

Alves-Pereira e Castelo Branco hanno notato un'evoluzione dipendente dalla durata delle segnalazioni che passava da lievi sbalzi d'umore (1-4 anni di esposizione) a dolore toracico, sbalzi d'umore definiti, infiammazione del tessuto epiteliale come la pelle (4-10 anni) a dolori muscolari e articolari intensi, disturbi psichiatrici e mal di testa persistenti (> 10 anni). All'interno di questa popolazione, c'è stato un aumento di oltre un fattore 10 di epilessie ad esordio tardivo, disturbi della tiroide, lupus eritematoso e vitiligine. Sebbene un pattern epidemiologico di questa portata avrebbe ricevuto un'attenzione diffusa se lo stimolo fosse stato il tabacco o un cancerogeno classico, il significato delle sindromi vibroacustiche è stato ampiamente sottovalutato.

I sintomi della sindrome vibroacustica che la differenziavano dallo "stress generale" erano la presenza di bassi livelli di cortisolo nel sangue ma elevata adrenalina con il cospicuo ispessimento del muscolo pericardico e nessuna disfunzione diastolica. C'è una proliferazione aspecifica di

collagene ed “elastina” in assenza di processi infiammatori. Nella popolazione di tecnici che hanno valutato, c'è stato un marcato aumento dei carcinomi a cellule squamose principalmente nel lobo superiore destro del polmone. La microscopia elettronica delle microstrutture all'interno di vari organi come il polmone e il sistema gastrointestinale ha indicato una storia di tosatura o un'assenza anomala di questi processi. All'interno della coclea, c'era una fusione di ciglia cocleari, un cambiamento fisico suggerito dagli autori potrebbe essere una causa della maggiore sensibilità a qualsiasi rumore riportato dai pazienti.

Bruel e Olesen (1973) hanno scoperto che la generazione artificiale di infrasuoni intorno a 12 Hz nell'intervallo 85-110 db ha suscitato malumori in pochi secondi in molte persone. Mentre le pressioni degli infrasuoni tra 115 e 120 db generate tra 1 e 20 Hz non hanno prodotto anomalie visive durante i comportamenti di routine dei test, c'è stato un aumento del 30-40% nel tempo di reazione così come la sensazione di letargia (Evans e Tempest 1972) . L'applicazione di vibrazioni su tutto il corpo da variazioni sinusoidali applicate verticalmente mostra la massima trasmissibilità intorno a 5–6 Hz con un intervallo tra circa 3 e 7 Hz (Stephens 1969). La banda di frequenza con effetti specifici può essere piuttosto stretta. Ad esempio, le sensazioni riportate come movimenti del corpo si sono verificate in circa un terzo dei volontari esposti a vibrazioni di 5-10 Hz, mentre gli effetti visivi erano più evidenti a 12, 14 e 19 Hz. Le sensazioni di formicolio erano evidenti intorno ai 32 Hz.

Pressioni sonore meno intense (80 db) con frequenze comprese tra 11,5 e 350 Hz, che si sovrappongono agli infrasuoni, hanno prodotto diminuzioni significative della precisione durante il monitoraggio dei numeri (Beningus e altri. 1975). La presenza di queste pressioni sonore durante le attività di vigilanza presentate per 30 s, ogni 3 minuti ha comportato un aumento di circa il 60% dei tassi di errore. Un'osservazione simile, basata sulle valutazioni soggettive di fatica da parte di una grande classe universitaria del secondo anno, è stata riportata da Persinger e altri. (1999). In

questi esperimenti, il grande sistema di ventilazione di un edificio scolastico veniva acceso o spento ogni ora durante le lezioni di 3 ore per diverse settimane. Sebbene la pressione di fondo fosse in media di 60 db, le fluttuazioni da picco a picco variavano tra 1 e 5 db.

Le analisi spettrali hanno indicato che la maggior parte della potenza acustica per le modulazioni di ampiezza di 1–5 db era compresa tra 6 e 25 Hz (e in particolare 9–20 Hz) con un picco medio intorno a 13 Hz, l'intervallo primario associato a una ridotta elaborazione cognitiva. Circa il 32% della variabilità nei punteggi (equivalente a un coefficiente di correlazione, $r = 0,57$) per la fatica ma non per la concentrazione auto-riferita potrebbe essere adattata dalle condizioni (ventole spente o accese). La temperatura della stanza variava tra 21 e 24 ° C mentre l'umidità relativa variava tra il 30 e il 40% ogni settimana. Le misurazioni durante i docenti in altre stanze con pressioni del suono di sottofondo comparabili ma senza la variazione di ampiezza costante o "flutter limenal" non hanno rivelato l'aumento delle valutazioni soggettive di fatica.

I periodi di esposizione brevi e estremi non sempre riflettono le esperienze associate alle ampiezze naturali o quelle prodotte dalle turbine eoliche. Tuttavia, i sintomi possono essere informativi. Esposizioni brevi (<120 s) a infrasuoni di 150 db nell'intervallo 2–100 Hz sono state inizialmente studiate da Mohr e altri. (1965) per simulare le condizioni di lancio di un razzo con equipaggio. Sintomi come vibrazioni toraciche, soffocamento, "solletico" dell'orecchio medio o dolore erano evidenti. A 100 Hz, 153 db, i sintomi includevano arrossamento cutaneo, mal di testa e lieve nausea. Tra 63 e 70 Hz, i sintomi includevano soffocamento, salivazione, tosse e dolore durante la deglutizione.

Uno dei primi studi significativi sugli animali di Wike e altri. (1975) coinvolgeva vibrazioni di tutto il corpo di 8 Hz, 6,1 mm (da picco a picco). I ratti hanno imparato rapidamente a premere una barra per terminare la presentazione di questo stimolo, indicando che la sua presenza era aversiva

(rinforzo negativo). I soggetti vibrati hanno premuto la leva 40-90 volte al giorno per 30 giorni rispetto alla frequenza dei soggetti non vibrati di circa 3,5 pressioni al giorno. Con un peso medio del ratto di circa 0,26 kg, la forza era di circa 10-1 N. Ciò sarebbe equivalente a una pressione sull'area di contatto del ratto ($8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$) di circa 10 Pa o 110 db. I ratti non sono inclini alla "suggestionabilità" o all'errata attribuzione. Questi risultati indicano che i livelli di infrasuoni ad ampiezze frequenti in natura o negli spazi di lavoro di grandi edifici con sistemi di ventilazione non ottimali o massicci apparati vibranti sul tetto possono essere comportamentali avversi.

Le fluttuazioni di pressione all'interno del volume del cervello di ratto ($2,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3$) sarebbero energeticamente simili a 10^{-5} J . Con circa 109 volumi cellulari equivalenti all'interno di un cervello di 2,5 cc, ciò significherebbe che circa 10^{-14} J da questa energia sarebbe disponibile per cella. Questo rientra nella gamma di energia metabolica associata al metabolismo del glucosio ($10^{-12} \text{ J s}^{-1}$). L'argomento secondo cui il numero di neuroni che potrebbero essere colpiti è minimo rispetto al numero totale di neuroni nel cervello del ratto potrebbe non essere valido alla luce delle scoperte più recenti che la stimolazione sperimentale di un solo neurone può influenzare le risposte comportamentali in un'attività di rilevamento (Houweling e Brecht 2007) e possono modificare lo stato globale del collettore corticale (Li e altri. 2009).

Al fine di verificare la natura causale rispetto alla correlazione delle loro osservazioni per i cambiamenti nei tecnici aeronautici esposti a infrasuoni intensi e rumore a bassa frequenza, Costelo Branco e Alves-Pereira (2004) hanno esposto i ratti a rumore continuo a bassa frequenza (per simulare le condizioni a cui sono stati esposti i tecnici dell'aeromobile) per 48 ore seguite da una settimana di pressione sonora minima. Dopo l'esposizione al suono erano evidenti anomalie microscopiche all'interno dell'epitelio tracheale. Dopo circa 2-3 giorni, le differenze morfologiche erano minime rispetto ai controlli.

Misurazione diretta del potenziale endococleare di Salt e altri. (2013) hanno rivelato i potenziali meccanismi chimici coinvolti negli effetti degli infrasuoni. Sapendo che (1) la scala vestibolare e timpanica contengono fluidi con concentrazioni extracellulari tipiche (ad alto contenuto di sodio) mentre lo spazio di interfaccia (l'endolinfa) contiene un'alta concentrazione di potassio, e (2) questa concentrazione differenziale di ioni, analoga al fenomeno di la membrana plasmatica di una singola cellula, risulta in una potenziale differenza di circa 80 mV, hanno iniettato cloruro di potassio isotonicamente nell'apice cocleare delle cavie. L'applicazione di soli 5 cicli di 0,3 Hz ma una pressione non sostenuta al canale esterno ha aumentato le concentrazioni di potassio che erano derivate da impulsi di endolinfa guidati dal seno nel sacco endolinfatico (Salt e Hullar 2010).

Queste sono potenti verifiche sperimentali. La viscosità (Pa s) moltiplicata per la durata dell'applicazione, divisa per la massa, si traduce in una frequenza stazionaria o di "risonanza". Considerando la viscosità di questi fluidi (circa 10^{-3} Pa s) e assumendo che l'endolinfa nella scala occupi circa 25 μ L e mostri una lunghezza di circa 27 mm, la frequenza di stazionamento sarebbe nell'ordine di 0.1-0.3 Hz. Se questa coincidenza è significativa, potrebbe riflettere un meccanismo aggiuntivo (piuttosto che la corrispondenza delle lunghezze d'onda) coinvolto con le proprietà speciali dell'acqua e dei sistemi acquosi viventi (Del Giudice e altri. 2010; Pollack 2003) con cui le pressioni degli infrasuoni potrebbero influenzare questa regione.

Salt e Hullar (2010) hanno mostrato che la diminuzione della differenza di potenziale ha interrotto la funzione del sensore dopo circa 1 ksec. La variazione della differenza di potenziale era di circa 8 mV in risposta a una variazione di pressione di 0,4 Pa a 5 Hz. Ciò rientra ampiamente nell'ampiezza degli infrasuoni prodotti da molte fonti naturali e dalle turbine eoliche. Una variazione di 8 mV produce un'energia equivalente su una carica ($1,6 \times 10^{-19}$ A s) di $1,3 \times 10^{-21}$ J. Quando diviso per 0,4 Pa ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), ciò richiede un volume di circa $3,2 \times 10^{-21}$ m³ o spazio cubico con una larghezza di $1,5 \times 10^{-7}$ m o 150 nm. Questo rientra nella gamma dello spazio suggerito da Salt e altri.

(2013) per accogliere le loro osservazioni. Questi autori avevano scoperto che le risposte agli infrasuoni erano distinguibili intorno ai soli 60 db a causa in parte dell'aumento della pressione differenziale tra gli spazi endolinfatici rispetto allo spazio perilinfatico.

Gli effetti degli infrasuoni potrebbero non essere sempre negativi. C'è stato un interesse recente nell'impiego dell'allenamento vibratorio su tutto il corpo nelle persone anziane al fine di aumentare l'adattamento neuromuscolare e aumentare la densità minerale ossea (Brooke-Wavell e Mansfield 2009). Le frequenze tipiche coinvolte in questi studi erano comprese tra 12 e 60 Hz con ampiezze riportate tra 55 μm e 8 mm. I tempi di esposizione variano tra 1 e 10 minuti mentre il paziente è in piedi. Supponendo una massa di 70 kg e uno spostamento di 1 mm applicato a 20 Hz, la forza sarebbe circa 10^{-2} N; la pressione attraverso i piedi (circa 10^{-3} m^2) sarebbe di circa 10 Pa o l'equivalente di 120 db. L'alterazione della tonicità muscolare da parte di farmaci classici come il fenobarbital (50 mg kg^{-1}) o la morfina (15 mg kg^{-1}) altera la risposta alle vibrazioni del corpo intero nei cani (Evces e McElhaney 1971).

Una delle principali conseguenze del passaggio dalle forze alle energie durante il ventesimo secolo è stata l'emergere del principio secondo cui queste ultime sono state trasformate piuttosto che eliminate. Quando vengono incorporate considerazioni quantistiche (che dipende dalla frequenza) e viene aggiunta la rilevanza della risonanza, le energie applicate da più sorgenti a una condizione al contorno possono produrre effetti non lineari all'interno del volume. Oltre alla congruenza o all'accoppiamento di modelli di frequenza estrinseci e intrinseci, la variabile aggiuntiva è la penetrabilità. I campi elettromagnetici, in particolare la componente del campo magnetico a intervalli inferiori (biofrequenza), e gli infrasuoni hanno la capacità di penetrare completamente nel volume principalmente acquoso del sistema vivente.

Il recente cambiamento di paradigma riconosce l'importanza dei quanti minuti di energia, nell'ordine da 10^{-20} a 10^{-19} J (Persinger 2010), che sembrano essere le basi fondamentali per il potenziale di membrana plasmatica a riposo della cellula media, la potenziale d'azione dei neuroni, l'accoppiamento tra neurotrasmettitori e recettori sulle membrane cellulari e persino l'energia attraverso la membrana dagli effetti della gravità sulla massa cellulare tipica (circa 10-13 kg). Poiché gran parte dei fenomeni elettromagnetici associati a questa energia è all'interno della gamma di frequenza che definisce la luce visibile e il vicino infrarosso, che hanno dimostrato di partecipare alle interazioni intercellulari e intracellulari e ai percorsi molecolari (Cifra e altri.2011), stimoli fisici da l'ambiente la cui grandezza può convergere con questi processi ha il potenziale per essere biologicamente efficace. La densità di potenza equivalente (10^{-12} W m⁻²) alla pressione acustica (2×10^{-5} Pa) per la soglia per l'udito è all'interno di un ordine di grandezza della variazione di energia all'interno dello spettro visibile associato ai processi cognitivi (Dotta e altri.2011).

Le oscillazioni libere di fondo della terra mostrano ampiezze dell'ordine di 5×10^{-12} m s⁻² con frequenze dominanti comprese tra 3 e 5 mHz (Nishida e altri. 2000). Per una persona media di 70 kg con un accoppiamento fisico ottimale a queste vibrazioni quando applicate su una lunghezza media di 1 m (per la larghezza lineare del corpo), l'energia sarebbe nell'ordine di 10-12 W. Se questo fosse applicato su un'area del corpo compresa tra 0,1 e 1 m², la densità di potenza sarebbe compresa tra 10^{-12} e 10^{-11} W m⁻². Questo rientra nell'ordine di grandezza associato all'energia dei fotoni emessi dal cervello durante la cognizione e nel limite per rilevare le variazioni di kHz della pressione meccanica da parte dei trasduttori più sensibili del corpo.

L'introduzione di oscillazioni libere di fondo ai potenziali effetti degli infrasuoni potrebbe essere importante a causa della vicinanza della gamma di frequenze e delle loro combinazioni sinergiche. Potrebbe non essere falso che l'onda stazionaria tra i livelli riscaldati dell'alta atmosfera, probabilmente responsabile delle proprietà insolite della distribuzione degli infrasuoni, risolve

questa distanza (altitudine). Se questo approccio è anche parzialmente valido, allora le sorgenti di infrasuoni, in particolare quelle provenienti da turbine o grandi complessi industriali, potrebbero interessare popolazioni sensibili a distanze significative mentre le aree intermedie non ne sono state o minimamente interessate. L'influenza sarebbe diffusa e concentrata nelle aree che incidentalmente occupavano nodi permanenti di questa generazione.

Il calcolo intelligente di Cameron (1992) per l'intensità di un'onda sonora basato su analisi dimensionali, $\rho v A (2\pi f)^2$, può essere applicato all'acqua, i principali costituenti delle cellule. Con densità $\rho = 103 \text{ kg m}^{-3}$, $v = 1,48 \times 10^3 \text{ ms}^{-1}$ e $A =$ area di una molecola d'acqua, raggio = $0,3 \text{ nm}$ ($2,8 \times 10^{-19} \text{ m}^2$) e 1 Hz (s^{-1}) oscillazione (una frequenza intermedia degli infrasuoni), l'"intensità" o (densità di potenza in equivalenza elettromagnetica) sarebbe nell'ordine di $10^{-12} \text{ W m}^{-2}$. Questa densità di potenza è al limite per discernere il suono attraverso la membrana timpanica ed è nello stesso ordine di grandezza delle emissioni di fotoni dal cervello durante la cognizione.

L'aggregato delle unità di forza è kg m s^{-2} . Supponendo che una persona di 70 kg mostri una vibrazione corporea di 10^{-6} m ($1 \text{ }\mu\text{m}$) 10 volte al secondo (10^{-5} ms^{-1}), allora l'applicazione di una forza applicata risonante all'interno della gamma degli infrasuoni di 10 Hz sarebbe associata con una forza "funzionale" di circa 10^{-2} N . Se questa fosse applicata su una superficie, come il corpo umano, di circa 1 m^2 , la pressione sarebbe nell'ordine di $0,01 \text{ Pa}$, che è equivalente a circa 50 db . Quando questa stessa forza è stata applicata sulla lunghezza del corpo (1 m), l'energia sarebbe circa 10^{-2} J . Secondo le interpretazioni classiche, la persona non "sentirebbe" questa frequenza perché la soglia a questa frequenza è $> 90 \text{ db}$. Tuttavia, il potenziale di influenzare i percorsi molecolari e la funzione cellulare potrebbe essere significativo.

Sebbene questo sia quattro ordini di grandezza inferiore all'energia tipica generata al secondo dal corpo umano dal metabolismo del glucosio (circa $100\text{-}150 \text{ J s}^{-1}$), queste piccole energie diventano potenzialmente significative se fossero distribuite equamente all'interno di circa 10 trilioni di cellule

(e anche più batteri) contenuti nel volume. Supponendo che la larghezza media della cella sia circa $10\ \mu\text{m}$ e la densità approssimativa dell'acqua, la massa sarebbe circa $5 \times 10^{-13}\ \text{kg}$. Adattando le grandi cavità all'interno del corpo, come i polmoni e l'addome, nonché la distanza tra le cellule e l'ambiente acquoso, la proporzione di cellule nel volume per una persona di $70\ \text{kg}$ sarebbe nell'ordine del 10% di 10 trilioni di cellule.

Quindi, l'energia per cellula al secondo sarebbe compresa tra circa 10^{-16} e $10^{-17}\ \text{J}$. Supponendo che la reazione molecolare media, come il sequestro di un ligando a un recettore, sia di circa $10^{-20}\ \text{J}$, ciò consentirebbe tra 10^3 e 10^4 reazioni da influenzare. La base razionale di questo approccio si riflette nella condizione al contorno. Se la forza applicata dagli infrasuoni risonanti fosse al limite di rilevamento ($2 \times 10^{-5}\ \text{N}$) e applicata sulla stessa distanza, l'energia sarebbe circa 10^3 in meno rispetto ai calcoli precedenti e l'energia per cella si avvicinerebbe a $10^{-20}\ \text{J}$, che può essere un'unità fondamentale per le interazioni molecolari (Persinger 2010). Questi calcoli suggeriscono che un approccio sistematico agli effetti di vibrazioni acustiche molto deboli sui percorsi molecolari verso le cellule potrebbe rivelare i meccanismi mediante i quali gli effetti indesiderati degli infrasuoni potrebbero essere ridotti al minimo.

Forse il più grande impedimento concettuale nell'apprezzare la potenziale influenza degli infrasuoni è la convinzione intrinseca che le energie siano troppo piccole per essere biologicamente efficaci o che per essere efficaci sia necessaria una "consapevolezza". Può esserci una base fondamentale per la convergenza tra le piccole energie nell'ambiente e le finestre di risposta del corpo. Questo è molto chiaro nel dominio delle intensità naturali generate dalla risonanza di Schumann (Cherry 2002). La frequenza fondamentale di circa $7\text{--}8\ \text{Hz}$ e le sue armoniche generate tra la terra e la ionosfera si sovrappongono alle principali bande di frequenza del cervello umano. Anche la struttura temporale è simile (Koenig e altri. 1981). Inoltre, le ampiezze delle componenti magnetiche (picoTesla) ed elettriche (mV) di queste onde di Schumann rientrano nella stessa grandezza delle componenti

magnetiche ed elettriche misurate dalla varietà corticale cerebrale durante diversi stati di coscienza (Persinger e Lavalee 2012). Tale convergenza nella forma e nell'intensità incoraggia la risonanza.

Che l'energia elettromagnetica possa indurre direttamente l'esperienza del suono è noto sin dagli esperimenti storici di Frey (1962). Ha studiato la percezione dei suoni, anche da parte di soggetti che erano clinicamente sordi, da centimetri a centinaia di metri dai trasmettitori MHz e GHz. I suoni indotti dalla radiofrequenza (rf) sono stati descritti come ronzii, clic, "colpi" e sibili a seconda del trasmettitore. Sebbene la frequenza portante fosse compresa tra 425 MHz e 2,9 GHz, il "suono" si verificava quando le portanti venivano pulsate all'interno della gamma di frequenze estremamente basse. Una frequenza di ripetizione effettiva era di 27 impulsi al secondo. Frey ha stimato sulla base di misurazioni dirette che in condizioni molto silenziose (circa 5 db dai riferimenti classici), i suoni RF potrebbero essere indotti con densità di potenza di picco di circa 30 mW m^{-2} .

Le equivalenze delle energie da sorgenti elettromagnetiche e meccaniche indicano convergenza o complimento dei loro effetti individuali quando sono presentate simultaneamente. Dal punto di vista della parsimonia, sia le energie elettromagnetiche che quelle meccaniche sono l'espressione della "stessa" entità. La loro concorrenza si sta intensificando nell'ambiente culturale. Ad esempio, il suono della musica presentato da dispositivi posizionati nei canali uditivi (al contrario dell'ascolto di musica da altoparlanti distanti o strumenti che propagano le onde nell'aria) è anche associato a un campo magnetico concomitante.

L'energia all'interno di un volume da un campo magnetico può essere stimata da $J = (B^2 \times (2 \times 4\pi\mu))^{-1}$ moltiplicato per volume, dove B è la forza del campo e μ è la permeabilità. Misure dirette con un misuratore di potenza (AC Milligauss Meter: modello UHS2 di AlphaLab Inc) dell'intensità media del campo magnetico da "auricolari" attraverso cui la musica viene generata da dispositivi portatili (iPod-touch per esempio) mostra intensità di campo comprese tra 10^{-7} T (1 mG) e 10^{-6} T (10 mG), a seconda del "volume" regolato. Utilizzando l'equazione precedente per l'intensità più debole,

l'energia sarebbe 4×10^{-15} J e con una frequenza mediana di 1 kHz (s^{-1}), la potenza sarebbe 4×10^{-12} W. Con un'area approssimativa di 10^{-4} m² per la membrana timpanica, la densità di potenza equivalente ("intensità") sarebbe 4×10^{-8} W m⁻² o circa 40 db. livelli elevati, l'intensità del campo magnetico dalle gemme è 10^{-6} T quindi l'energia risultante equivalente alla pressione acustica sarebbe di circa 80 db. i campi etici potrebbero facilitare la trasmissione di informazioni diverse da quelle contenute negli "schemi sonori".

Esperimenti di Saroka e Persinger (2011) hanno mostrato che la scelta "consapevole" delle parole target da un elenco di parole da parte di volontari normali poteva essere influenzata quando le parole pronunciate venivano presentate solo come schemi magnetici nell'ordine di 10^{-6} T (10 mG) attraverso i lobi temporali. Queste intensità sono simili a quelle sperimentate se il viso fosse posizionato molto vicino al terminale di un computer. Successive analisi hanno indicato che l'effetto sulla "scelta" era mediato dalle dimensioni emotive (spiacevole-piacevole; passivo-attivo) delle parole presentate come equivalenti elettromagnetici. Queste soluzioni quantitative e i risultati sperimentali indicano che le energie provenienti da sottili sorgenti acustiche ed elettromagnetiche all'interno dell'ambiente possono influenzare la cognizione umana.

La maturazione di una disciplina della scienza si sviluppa da misure singolari, ad esempio l'intensità, a misure più precise della distribuzione dell'ampiezza su un dominio temporale. Sebbene le pressioni acustiche di fondo medie e i livelli di decibel siano eccellenti stime di primo ordine, sono simili a impiegare solo le fluttuazioni medie di microvolt dal cervello umano per discernere le sue vicissitudini. Non sarebbero distinguibili. Suddividendo le proporzioni di potenza o energia da sorgenti acustiche e meccaniche in specifiche unità di frequenza, come il μV^2 Hz⁻¹ impiegato dalle misurazioni elettroencefalografiche quantitative, si potrebbe ottenere una descrizione più accurata e specificità dei sintomi e delle sindromi degli infrasuoni.

La nosologia e la tassonomia ottimali saranno senza dubbio derivate da test clinici e sperimentali approfonditi. Una possibile classificazione è stata suggerita da Alves-Pereira e Castelo Branco (2007). La loro suddivisione proposta per la banda 0–500 Hz include la suddivisione della potenza acustica secondo 1/3 di ottave che includerebbero 0–6,3, 8–12,5, 16–25, 31,5–63, 63–160 e 200–500 Hz. Un sistema più inclusivo potrebbe integrare i loro intervalli con le frequenze di picco in mHz (per periodicità inferiori a 1 Hz) che dominano i fenomeni geofisici (Campbell 1967).

CONCLUSIONI

I sistemi viventi, inclusa la specie umana, si sono evoluti all'interno di un ambiente naturale le cui proprietà sono complesse ma non intrattabili per la misurazione e la comprensione. Sebbene la suddivisione della descrizione formale dei fenomeni naturali da parte di diverse discipline scientifiche possa aver soddisfatto le condizioni della cognizione umana, le tradizioni successive potrebbero aver oscurato le relazioni essenziali tra l'adattamento umano e l'ambiente naturale che viene individuato in modo ottimale attraverso veri approcci interdisciplinari.

Gli esseri umani possono essere descritti sia come organismi meccanici che energetici. Esistono molteplici fonti di stimoli che esibiscono equivalenti energetici i cui valori a loro volta convergono con quelli essenziali per la funzione della cellula, dell'organo e dell'organismo. Le frequenze che sono state definite infrasuoni, da fonti naturali, artificiali e ancora sconosciute, hanno la capacità di risuonare con il corpo umano. Questa revisione della letteratura scientifica e delle illustrazioni quantitative derivate dall'applicazione sistematica di principi noti può facilitare l'acquisizione della precisione richiesta per distinguere tra pericoli naturali e benefici naturali piuttosto che dipendere principalmente da programmi politici e sociali.