

Università degli studi di Napoli Parthenope



Corso di Neurofisiologia del movimento

Sistemi Sensoriali

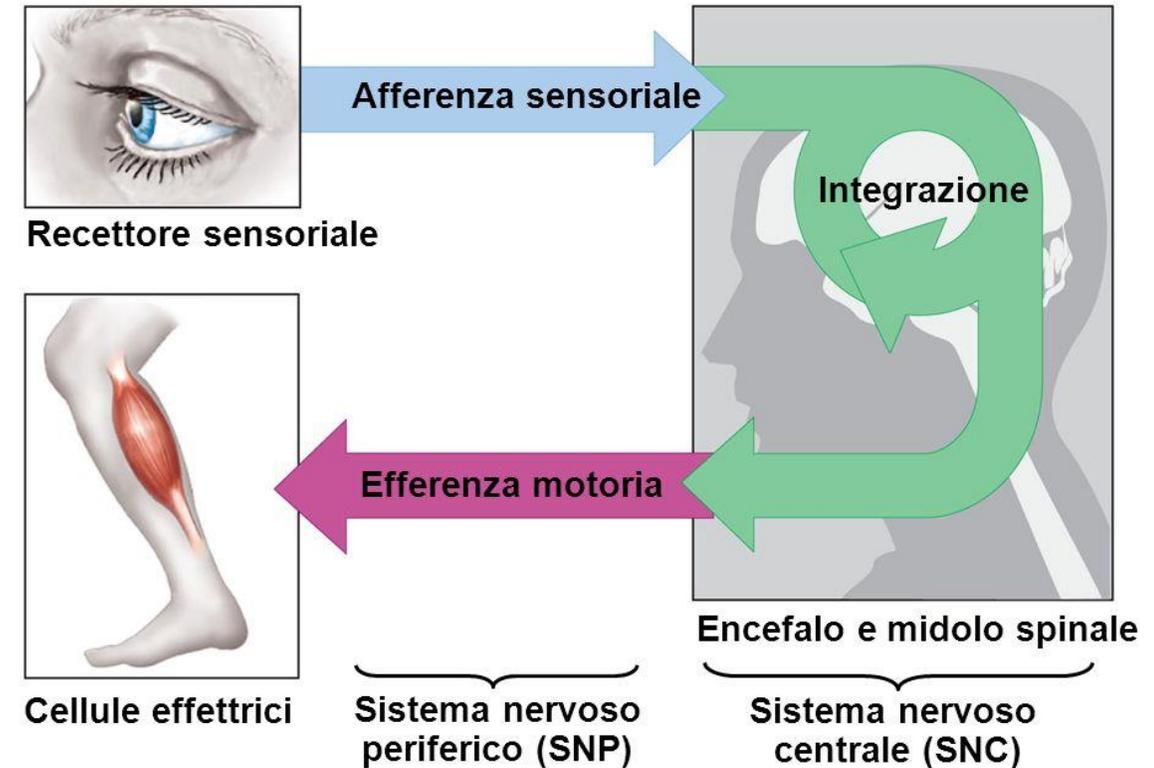
Dott.ssa Roberta Minino
roberta.minino@uniparthenope.it

Sistemi Sensoriali

Il disegno organizzativo del Sistema Nervoso Centrale è riconducibile ad una struttura composta da:

- **UN AFFERENZA** (sistema di ingresso)
- **UN CENTRO DI ELABORAZIONE**
- **UN EFFERENZA** (sistema di uscita)

Questa struttura è utile a percepire gli stimoli provenienti dall'ambiente esterno, elaborare e fornire una risposta adeguata.

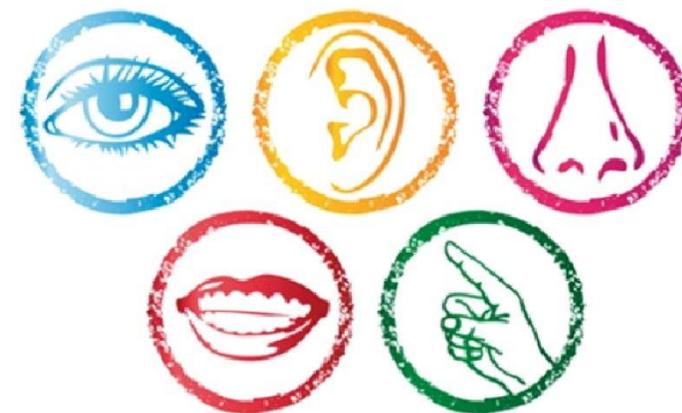


I **SISTEMI SENSORIALI** rappresentano il modulo d'ingresso – il mezzo attraverso cui il SN acquisisce le informazioni ambientali

Sistemi Sensoriali

Tutti i sistemi sensoriali, a prescindere dalla loro diversità, condividono la stessa capacità di percepire dagli stimoli ambientali le stesse informazioni:

- **LA QUALITA':** modalità sensoriale che lo stimolo è in grado di stimolare. Gli stimoli sensoriali possono essere visivi, olfattivi, acustici, tattili, gustativi. Nell'ambito di ciascuna modalità sensoriale si distinguono diverse submodalità (es: nel caso del gusto troviamo *dolce, salato, amaro* ecc..).
- **L'INTENSITA':** dipende dall'intensità dello stimolo. L'intensità di stimolo più bassa percepita si chiama Soglia Sensoriale.
- **LA DURATA:** è generalmente correlata all'intensità dello stimolo. Infatti se esso persiste a lungo, l'intensità percepita diminuisce (Fenomeno di Adattamento).
- **LA LOCALIZZAZIONE:** consiste nella capacità di percepire due o più stimoli vicini come diversi.



In relazione a questo fenomeno si possono distinguere recettori a rapido o lento adattamento

Sistema Somato-sensitivo

La sensibilità somatica ha origine da recettori distribuiti nella pelle, nei muscoli, nelle articolazioni e negli organi interni.

I recettori della sensibilità sono suddivisibili in:

- MECCANOCETTORI (sensibili agli stimoli meccanici)
- TERMORECETTORI (sensibili agli stimoli termici)
- CHEMORECETTORI (sensibili agli stimoli chimici)

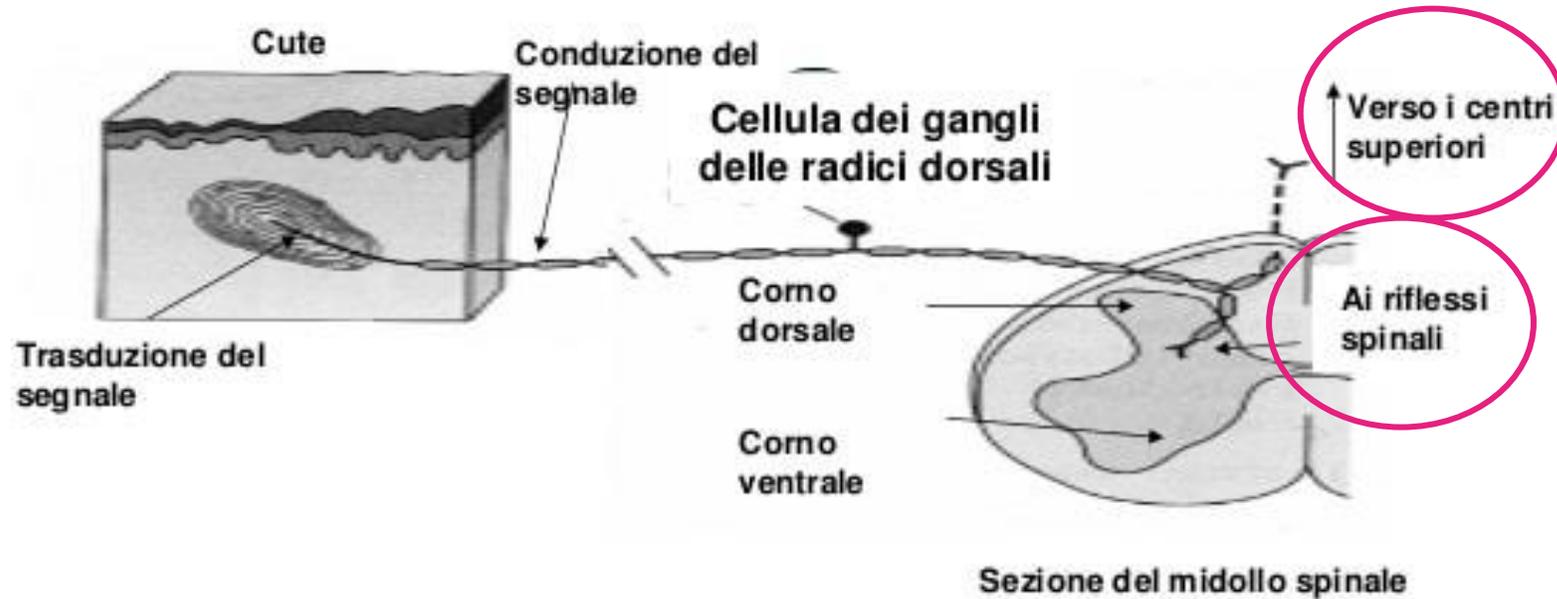
A seconda del tipo di energia da essi tradotta in segnale nervoso



Distinguiamo quindi all'interno della **sensibilità somatica** **modalità diverse** (ricordiamo che per modalità si intende una classe di stimoli sensoriali, caratterizzati dal tipo di energia dello stimolo e dal tipo di recettore che li trasduce) mentre, ovviamente, all'interno del sistema visivo e del sistema acustico viene elaborata informazione soltanto relativa ad una modalità, visiva ed uditiva, rispettivamente.

Sistema Somato-sensitivo

Le informazioni sensitive arrivano al midollo attraverso il 1° Neurone Sensitivo (il cui corpo è localizzato nei gangli spinali delle radici dorsali).



L'assone presenta due rami

Periferia: riflessi spinali

Nevrasse: verso i centri superiori

SENSIBILITA' ESTEROCETTIVA:

Capacità di percepire gli stimoli provenienti dalla superficie del corpo. Essa si distingue in:

- Esterocettiva Protopatica (nocicettiva)- percezione di stimoli dolorifici, termici e tattili a carattere diffuso e poco differenziati.
- Esterocettiva epicritica: assicura la localizzazione e la qualità degli stimoli tattili.

Le differenti modalità sensitive sono date dai recettori con caratteristiche morfo-funzionali differenti:

MECCANOCETTORI
attivati da stimoli
meccanici

NOCICETTORI
attivati da stimoli
dolorifici

TERMORECETTORI
Attivati da stimoli
termici

SENSIBILITA' ENTEROCETTIVA:

Trasporta le informazioni sullo stato dei visceri e dei vasi

SENSIBILITA' PROPRIOCETTIVA:

Capacità di percepire la posizione dei segmenti corporei nello spazio, la loro velocità e la direzione del movimento fornendo informazioni sulla pressione (barestesia), sulle vibrazioni (pallestesia), sul senso di posizione degli arti a riposo (batiestesia) e in movimento (chinestesia). Ciò è garantito da meccanoceettori cutanei (**Corpuscoli di Ruffini**) e da due propriocettori specializzati:

- **Fusi neuromuscolari** captare lo stato di allungamento dei muscoli e di inviare le informazioni raccolte al midollo spinale e all'encefalo. L'attività dei fusi neuromuscolari è quindi importante sia per prevenire infortuni legati ad un eccessivo allungamento, sia per mantenere il normale tono muscolare, sia per eseguire movimenti fluidi in maniera armonica e controllata.
- **Organi muscolo tendinei del Golgi** sensibili allo stato di tensione sviluppato dai muscoli sui tendini. Inoltre agisce come meccanismo "di emergenza", mediante il riflesso miotatico inverso: quando i muscoli sono contratti isometricamente, rilevano il grado di tensione sviluppato dai muscoli sui tendini, innescando un riflesso che porta al rilasciamento muscolare in caso di carico eccessivo, e proteggendo le fibre tendinee da eventuali danni.

Recettori Cutanei

- **Corpuscoli di Meissner:** adattamento veloce, superficiali, sensibili a vibrazione e percezione fine
- **Corpuscoli Pacini:** adattamento veloce, profondi, sensibili a vibrazione e stimoli pressori
- **Corpuscoli di Ruffini:** adattamento lento, profondi, sensibili a stiramento della cute e sensibilità termica
- **Corpuscoli di Merkel:** adattamento LENTO, superficiali, sensibili a pressione cutanea e dolore
- **Corpuscoli Krause:** adattamento lento, sensibili a stimoli termici (FREDDO)

Sistema Visivo

Nella specie umana è un sistema altamente specializzato grazie a due caratteristiche fondamentali:

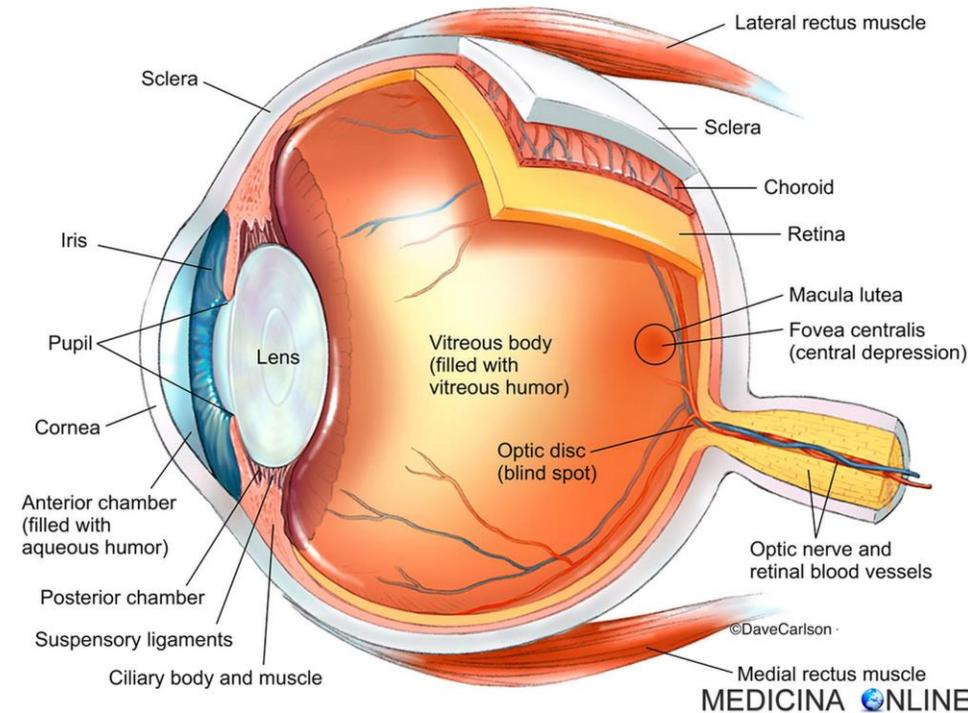
- visione stereoscopica che ci permette di osservare la tridimensionalità.
- Visione cromatica che ci permette di osservare i colori e le sfumature.

GLOBI OCULARI

L'occhio è considerato come un sistema di lenti che, attraverso la cornea ed il cristallino, riesce a focalizzare sulla retina la luce.

Nella retina sono presenti due recettori, i **CONI** (specializzati per la visione diurna e sensibili alle variazioni cromatiche) ed i **BASTONCELLI** (adatti alla visione crepuscolare ed insensibili ai colori). Essi trasducono l'impulso luminoso in impulso elettrico, che raggiunge la corteccia calcarina (l'area visiva primaria), consentendo così l'elaborazione di informazioni relative alle forme, ai colori e, soprattutto al movimento e alla posizione del corpo nello spazio.

VIE OTTICHE

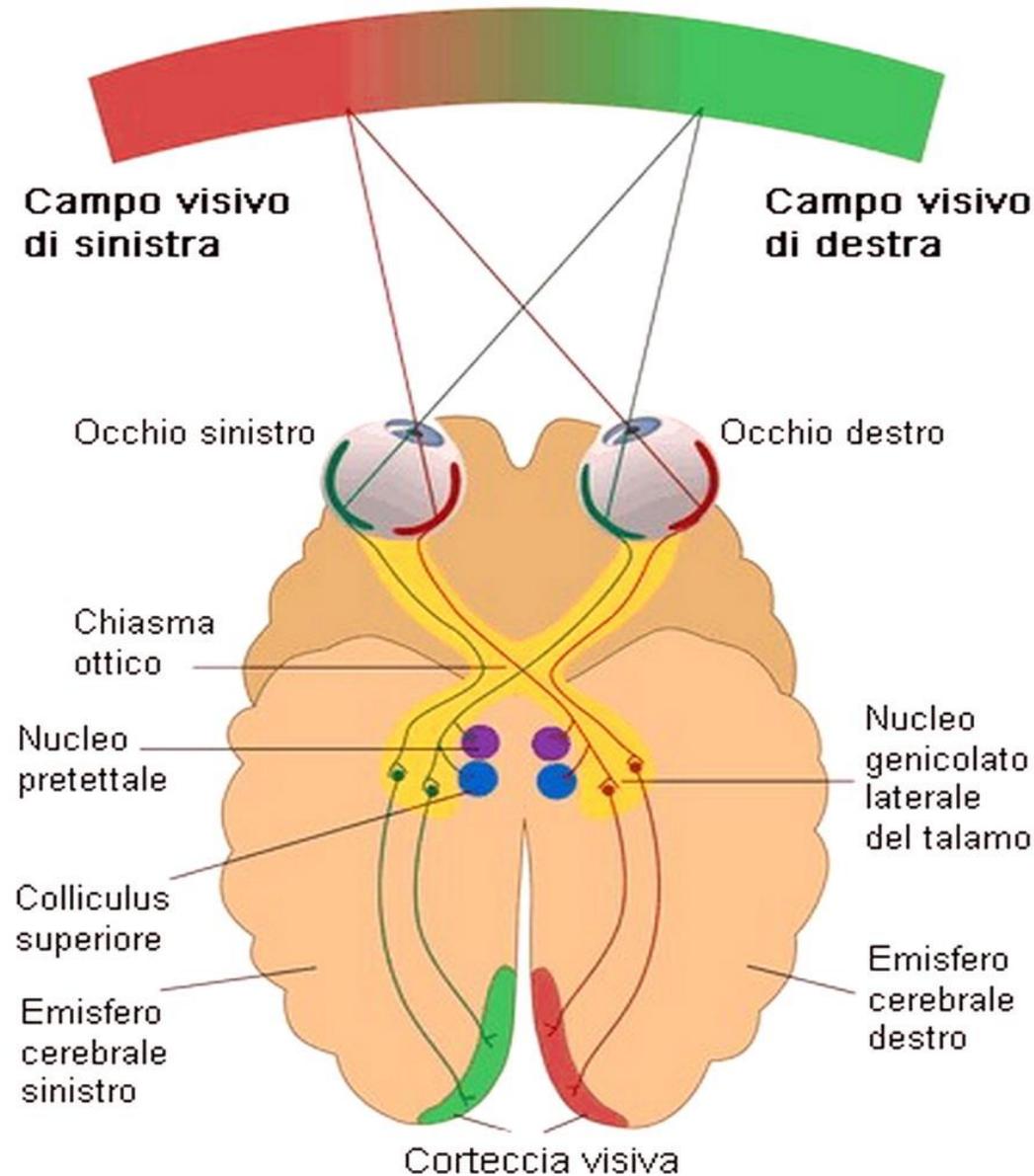


Il tratto ottico

Dalla retina emerge il **nervo ottico**, le cui fibre convergono parzialmente nel **chiasma ottico** (la parte che origina dal campo retinico temporale, restano omolaterali; quelle che hanno origine nel campo retinico nasale si incrociano nel chiasma). Circa il 90% degli assoni del tratto ottico finisce con innervare **il nucleo genicolato laterale del talamo**. Da qui i neuroni proiettano alla corteccia visiva primaria e prendono il nome di *radiazione ottica*.

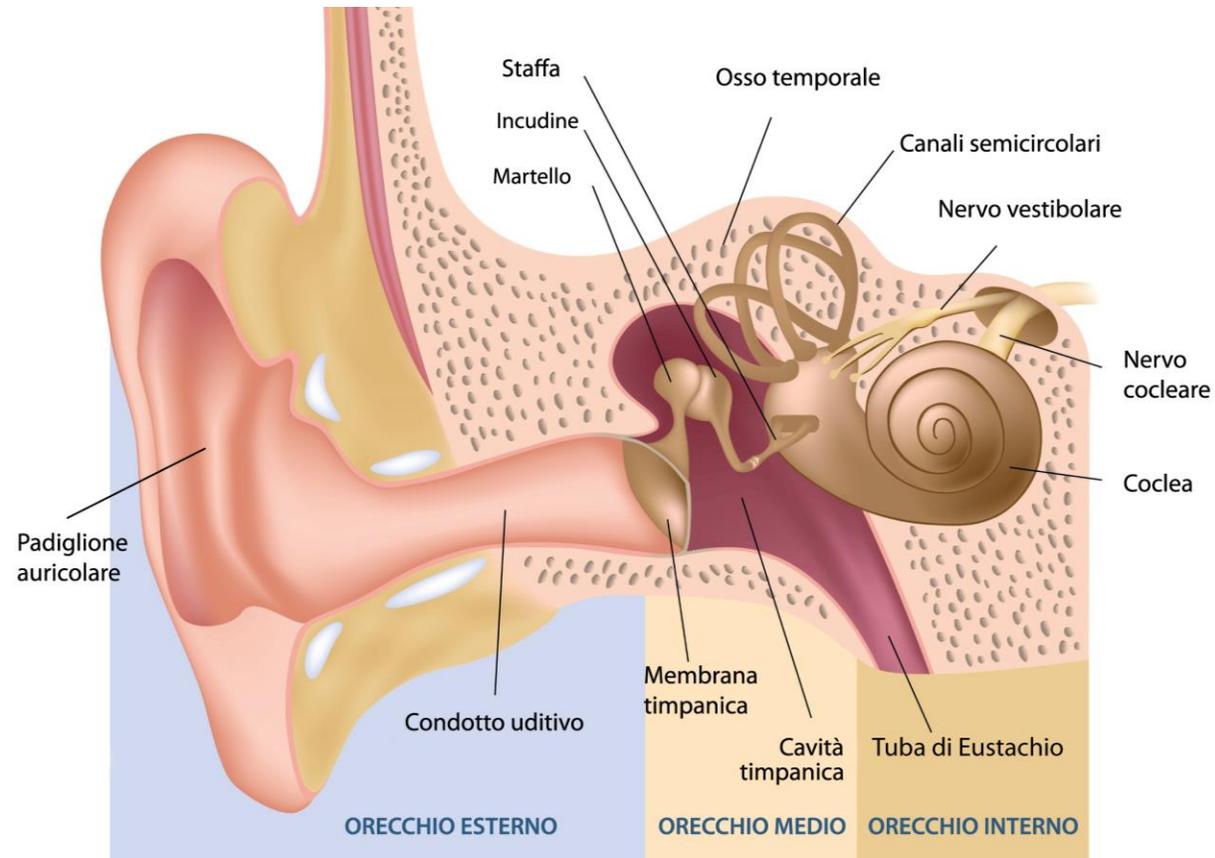
In base alla localizzazione di un eventuale lesione possiamo stabilire quale tipo di deficit visivo avremo:

- lesioni a livello del nervo ottico portano alla cecità per l'occhio interessato (*amaurosi*)
- lesioni a livello del chiasma ottico portano alla cecità per porzioni del campo visivo di entrambi gli occhi (*emianopsia bilaterale*)
- lesioni a livello del tratto ottico portano alla cecità per porzioni del campo visivo di uno degli occhi (*emianopsia omonima*)



Sistema Uditivo

L'anatomia del sistema uditivo è costituito da un insieme complesso di strutture, il cui compito è quello di trasformare il suono (che da un punto di vista fisico è la variazione della pressione dell'aria causata dal passaggio dell'onda sonora) in un impulso nervoso trasmesso al SNC, che lo analizza.

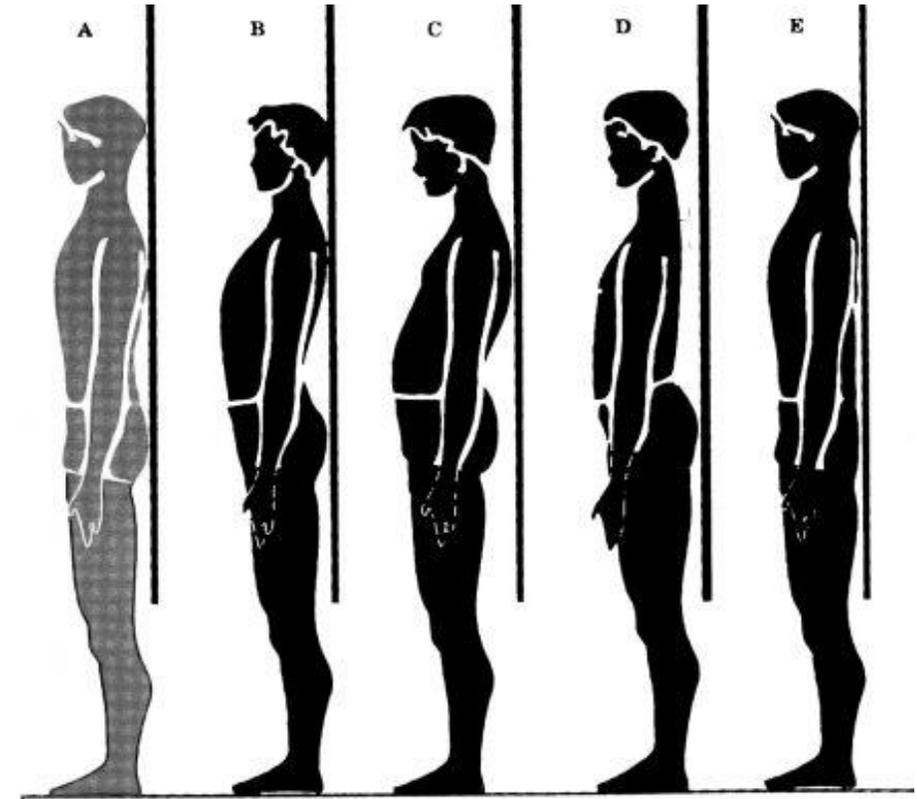


- **ORECCHIO ESTERNO:** composto dal padiglione auricolare e dal condotto uditivo ed ha il compito di raccogliere l'informazione proveniente dal mondo esterno
- **ORECCHIO MEDIO:** è una cavità in cui sono presenti il Timpano e tre ossicini, Staffa, Incudine e Martello che costituiscono la catena ossiculare.
- **ORECCHIO INTERNO:** costituito dal Labirinto Osseo (un sistema di cavità all'interno dell'osso temporale), e dalla Coclea, provvede a convertire le vibrazioni sonore in impulsi nervosi e a inviare, mediante il nervo cocleare, tali impulsi nervosi all'area cerebrale deputata (lobo temporale).

Sistema Vestibolare

Il sistema vestibolare è un sofisticato apparato sensoriale che rileva informazioni relative alla posizione ed al movimento della testa e del corpo nello spazio. A differenza di altri sistemi sensoriali, non siamo coscienti delle informazioni trasmesse dall'apparato vestibolare al sistema nervoso centrale.

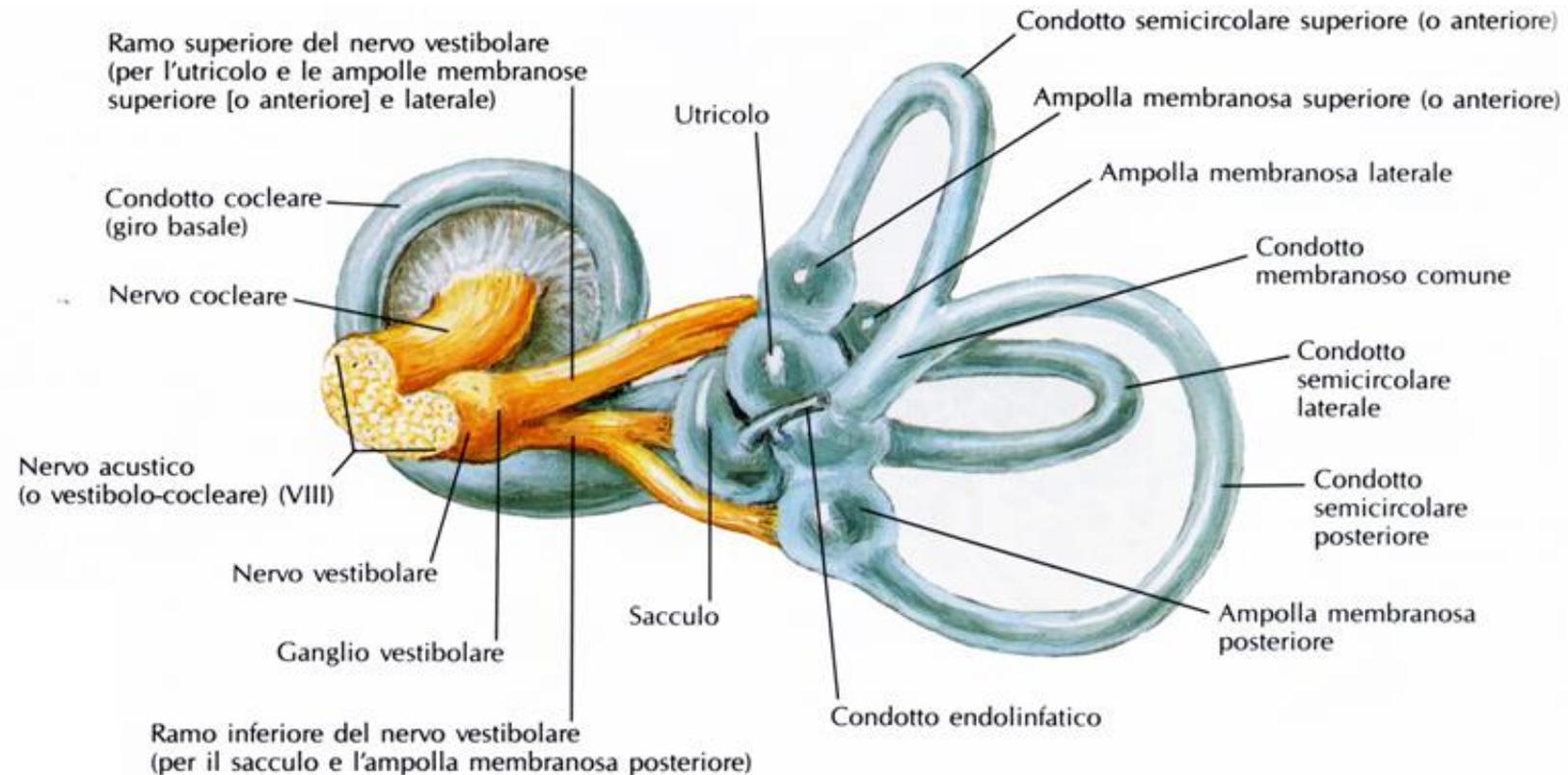
Esso è fondamentale per il mantenimento della postura e della stazione eretta, e per la coordinazione del movimento degli occhi con quello della testa.



Sistema Vestibolare

Il sistema vestibolare è situato nell'orecchio interno ed è costituito da due strutture principali:

- **CANALI SEMICIRCOLARI:** posizionati su 3 piani perpendicolari e sono sensibili alle accelerazioni angolari del capo in ciascuna delle e direzioni
- **ORGANI OTOLITICI:** *L'Utricolo ed il Sacculo* che sono in grado di rilevare le accelerazioni lineari del capo e la sua posizione nello spazio.

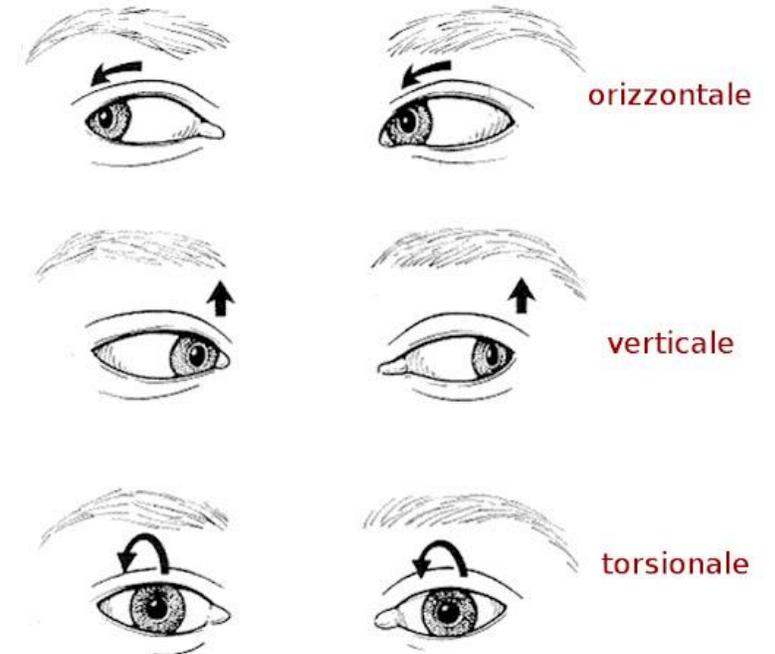


Sistema Vestibolare



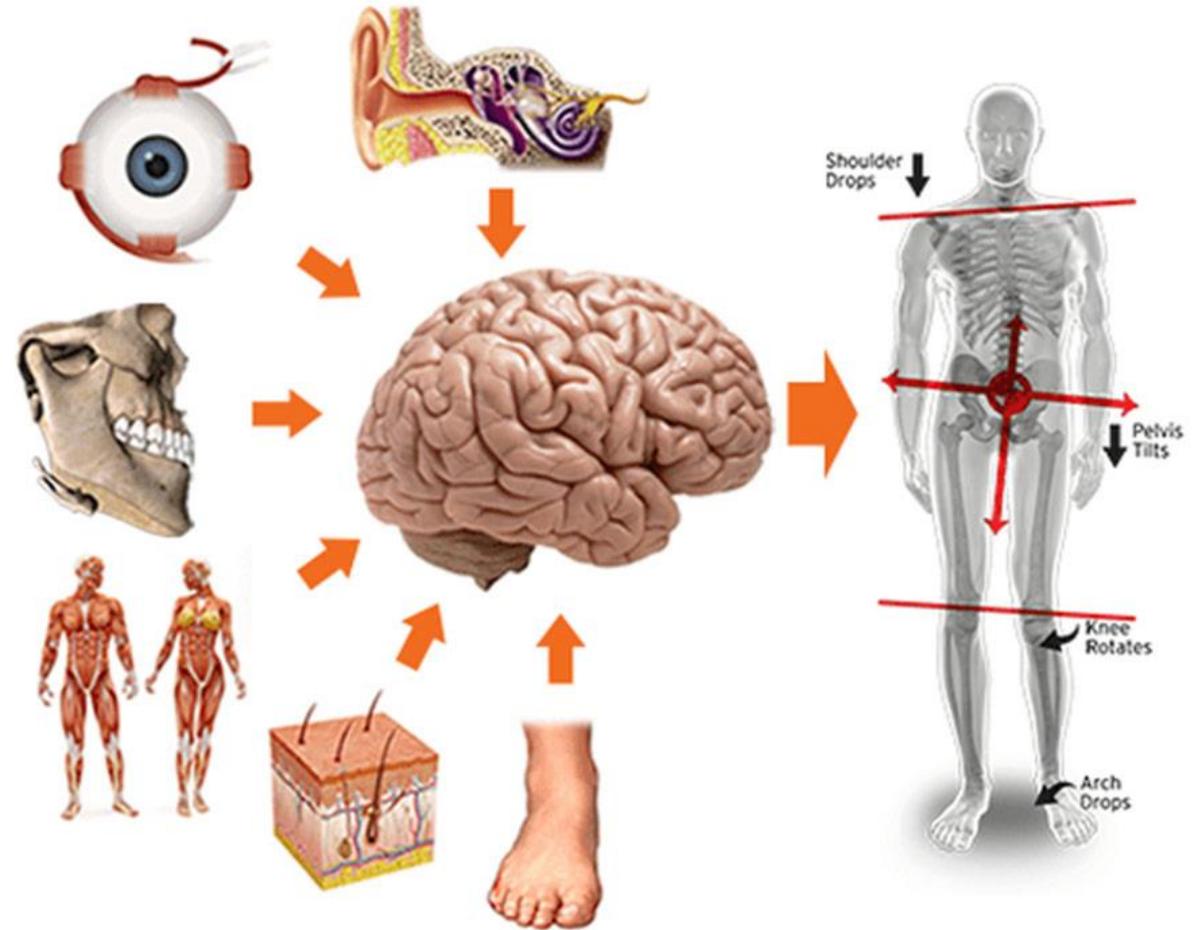
La Vertigine: riguarda una sensazione di rotazione erronea del proprio corpo (vertigine soggettiva - nel caso di lesioni centrali) o dell'ambiente circostante (vertigine oggettiva - nel caso di lesioni periferiche del sistema vestibolare).

Il Nistagmo: consiste nel movimento involontario e ritmico degli occhi sul piano orizzontale (lesioni pontine), verticale (lesioni mesencefaliche) o con componente rotatoria (lesione bulbare).



Sistema Tónico Posturale

La Postura è la posizione che assume il corpo nello spazio e la relazione spaziale tra le varie parti del corpo al fine di garantire la posizione eretta e il movimento (funzione anti-gravitaria statica e dinamica)



Stimolazioni Sensoriali

Le funzioni sensoriali sono essenziali per garantire il **controllo posturale** dell'individuo. L'esecuzione di qualsiasi atto motorio comporta una serie di aggiustamenti posturali che hanno lo scopo di garantire il mantenimento dell'equilibrio.

Sotto questo punto di vista, le afferenze sensoriali (**visive, vestibolari e propriocettive**) forniscono le informazioni sulla posizione dei singoli segmenti corporei ed il loro orientamento nello spazio consentendo al sistema motorio di generare risposte compensatorie che gli consentano la prosecuzione del movimento senza perdere l'equilibrio.

Quanto al **sistema uditivo**, infine, sebbene non svolga un ruolo preponderante nel controllo o nella realizzazione di aggiustamenti posturali, può essere considerato come un sistema sensoriale di supporto ai sopra citati che fornisce informazioni circa la tridimensionalità dello spazio circostante.

Deficit Sensoriali ed Equilibrio

Data la stretta correlazione tra sistemi sensoriali ed equilibrio, è intuitivo che un soggetto con una compromissione dei sistemi sensoriali (visivo, propriocettivo, uditivo o vestibolare) abbia una capacità di mantenere l'equilibrio minore.



il controllo posturale è ridotto quando c'è una perdita uditiva



il controllo posturale è ridotto quando c'è una perdita della vista



il controllo posturale è ridotto quando c'è un deficit vestibolare

Anche nel caso di soggetti sani, la volontaria e momentanea esclusione di una o più informazioni sensoriali, causano una riduzione della stabilità:

- OCCHI CHIUSI
- CON TAPPI PER LE ORECCHIE/CUFFIE
- SPUGNE SOTTO I PIEDI

Così come una riduzione delle informazioni sensoriali comporta una maggiore instabilità, un aumento di esse comporta un miglioramento dell'equilibrio.



Stimolazioni Sensoriali



Stimolazione
Acustica



Stimolazione
Visiva



Stimolazione
Vibratoria e
Vibro-tattile

Stimolazioni Sensoriali

Sono sempre più numerose le evidenze scientifiche che analizzano gli effetti che diverse tipologie di stimolazione ritmico-sensoriali possano avere sull'equilibrio di un soggetto dimostrando come un incremento delle afferenze (delle informazioni sensoriali) possa, di fatto, favorire un incremento della stabilità (statica e dinamica) di un individuo sia esso sano che con compromissioni neurologiche.

- Parkinson Disease

Rhythmic Auditory Stimulation in Gait Training for Parkinson's Disease Patients

*M. H. Thaut, †G. C. McIntosh, †R. R. Rice, *R. A. Miller, *J. Rathbun, and *J. M. Brault

Clinical Rehabilitation 2003; 17: 363-367

Auditory cues can modify the gait of persons with early-stage Parkinson's disease: a method for enhancing parkinsonian walking performance?

TE Howe Rehabilitation Research Unit, Postgraduate Institute, School of Health and Social Care, University of Teesside, Middlesbrough, B Lövgreen Manchester School of Physiotherapy, Manchester Royal Infirmary, Manchester, FWJ Cody School of Biological Sciences, University of Manchester, Manchester, VJ Ashton Rehabilitation Research Unit, Postgraduate Institute, School of Health and Social Care, University of Teesside, Middlesbrough and JA Oldham Centre for Rehabilitation Science, Manchester Royal Infirmary, Manchester, UK

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Gait improvement via rhythmic stimulation in Parkinson's disease is linked to rhythmic skills

Received: 14 October 2015

Simone Dalla Bella^{1,2,3,4}, Charles-Etienne Benoit^{1,2,4,5}, Nicolas Farrugia^{4,5}, Peter E. Keller^{4,6}, & Sonja A. Kotz^{1,4,5,9}

The Journal of Physical Therapy Science

Original Article

Rhythmic auditory stimulation using a portable smart device: short-term effects on gait in chronic hemiplegic stroke patients

BYUNG-WOO KO, MSc¹, HWI-YOUNG LEE, BSc¹, WON-KYUNG SONG, PhD^{1)*}

Effects of Rhythmic Auditory Cueing in Gait Rehabilitation for Multiple Sclerosis: A Mini Systematic Review and Meta-Analysis

Shashank Ghai¹ and Ishan Ghai²

¹Institute of Sports Science, Leibniz University Hanover, Hanover, Germany

²Victor Chang Cardiac Research Institute, Sydney, NSW, Australia

- Stroke

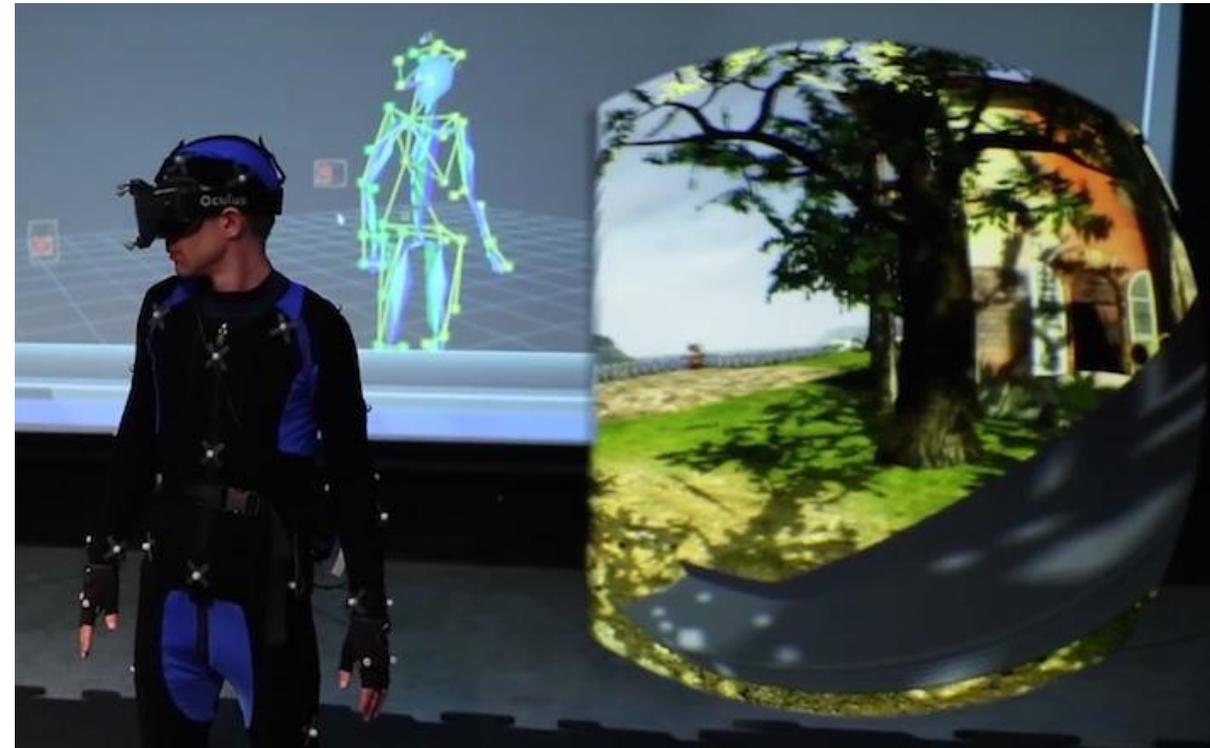
- Multiple Sclerosis

Stimolazione Visiva

La stimolazione visiva è un tipo di stimolazione che viene ampiamente adoperata per quei soggetti che soffrono di deficit di altri sistemi sensoriali. È stato visto infatti che soggetti giovani, quando vengono privati delle informazioni propriocettive appaiono più sensibili agli input visivi per mantenere la propria stabilità.

Di solito vengono utilizzati proiettori che trasmettono oggetti in movimento o fissi, luminosi, o con intensità di illuminazione differente.

Recentemente, la maggior parte degli studi sugli effetti della stimolazione visiva sulla funzione motoria sfrutta i vantaggi della realtà virtuale la quale sembra favorire un miglioramento dell'equilibrio sia statico che dinamico e dell'integrazione senso-motoria determinando un aumento della velocità dell'andatura e la riduzione del numero delle cadute, soprattutto in persone anziane.



Per quanto la stimolazione visiva possa essere considerata un valido strumento volto a consentire un incremento della stabilità, costituisce un "setting sperimentale" difficilmente applicabile all'uso quotidiano.

Stimolazione Vibro-tattile

La Stimolazione Vibro-tattile viene generata grazie a degli appositi strumenti quali:

- pedane vibranti
- Solette
- sensori tattili (Tactaid factors, Focal Vibrators)

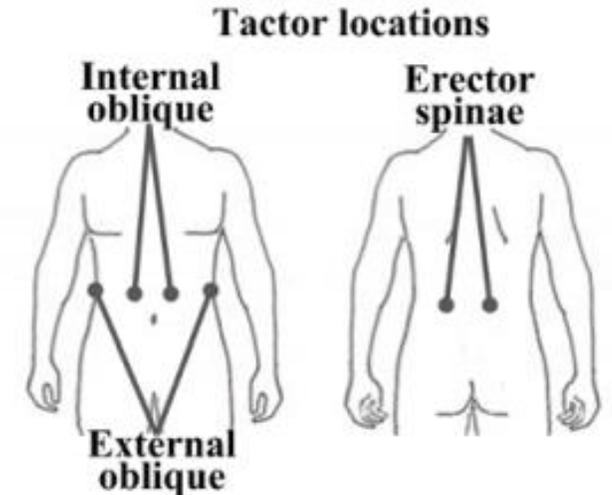
i quali vengono posizionati in specifiche sezioni anatomiche del soggetto.

A livello degli arti inferiori le zone prevalentemente trattate sono:

- il gastrocnemio
- il soleo
- il tensore della fascia lata o il tendine di Achille;
- pianta del piede

Sul tronco:

- in corrispondenza degli obliqui interni ed esterni
- dell'ereettore spinale.

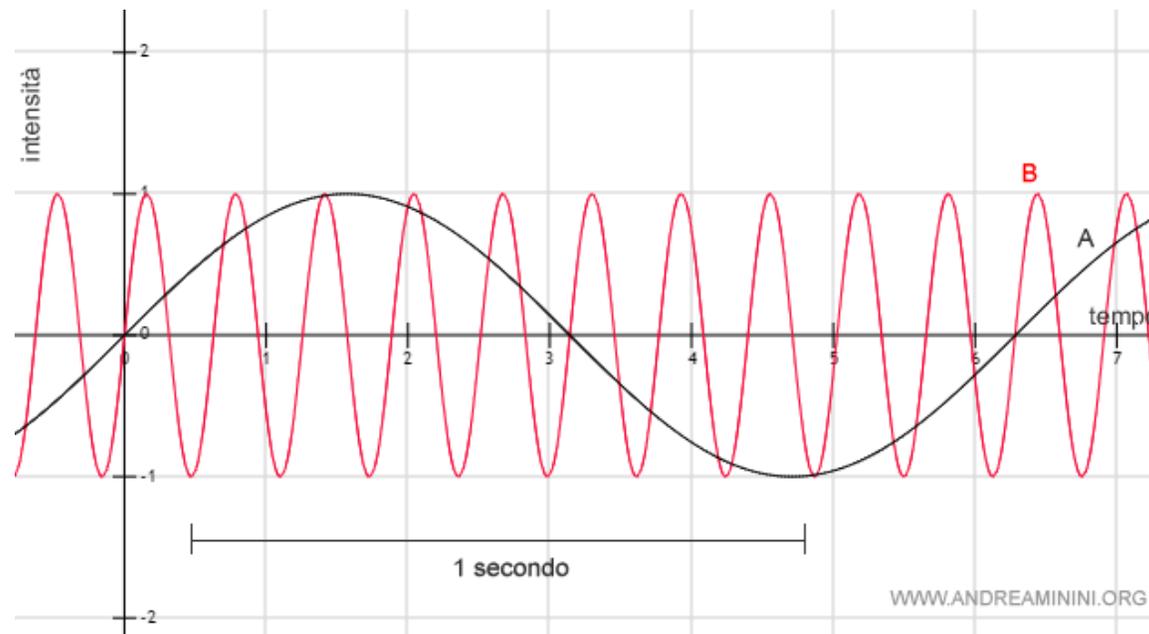


Stimolazione Vibro-tattile

La caratteristica principale di questo tipo di stimolazione è la frequenza, espressa in Hertz (Hz) con la quale viene generata.

Si parte da stimolazioni generate e frequenze relativamente basse (30 Hz), fino ad arrivare a frequenze molto elevate che raggiungono i 500 Hz.

In alcuni casi, non è stata utilizzata una frequenza predefinita ma una in funzione della soglia di sensibilità di ciascun individuo.



Whole Body Vibration

Con il termine *Whole body vibration training* (WBV) si fa riferimento ad un trattamento terapeutico che espone l'intero corpo di un paziente a delle oscillazioni meccaniche a frequenza variabile mentre quest'ultimo è fermo, in ortostatismo o seduto, su un'apposita pedana vibrante.

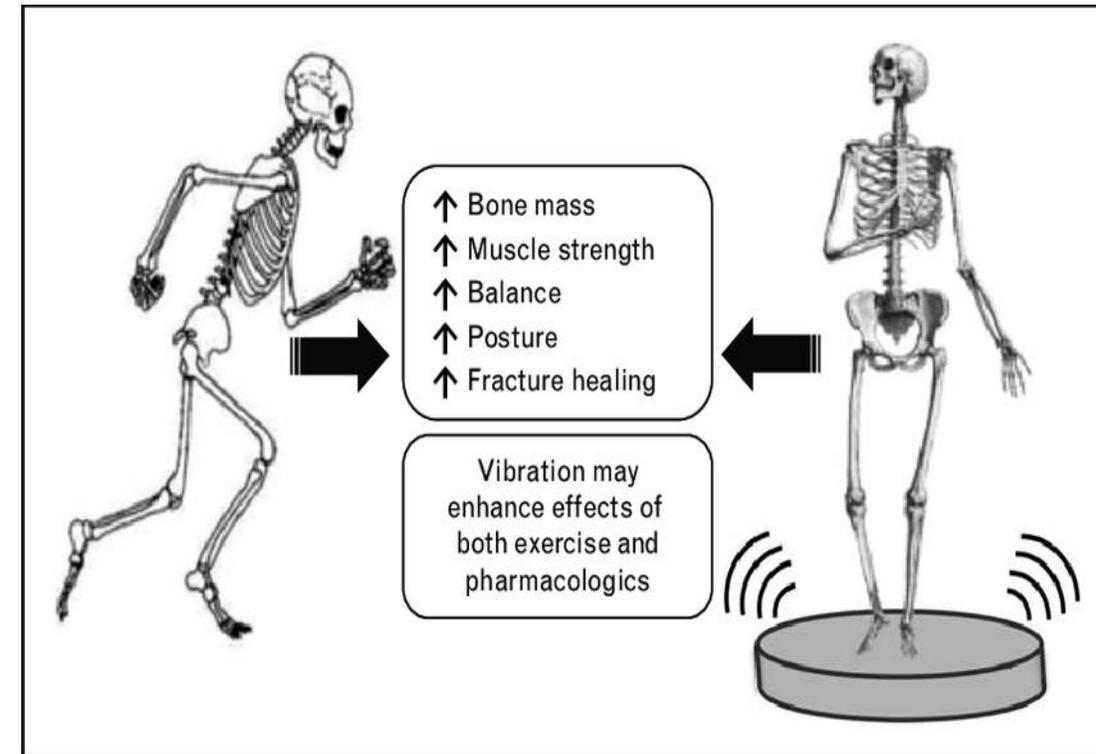


Fu per la prima volta utilizzata verso la fine del XIX secolo dal neurologo francese Jean Martin Charcot per trattare i disturbi del cammino in soggetti affetti da patologie neurodegenerative tra cui il Parkinson. Infatti hanno dimostrato che una sessione di WBV di 5 minuti comporta una riduzione del tremore, della rigidità e della bradicinesia e un miglioramento visibile della qualità del cammino e della stabilità posturale complessiva.

Whole Body Vibration

Costituisce un protocollo terapeutico per tutte quelle patologie caratterizzate da compromissione della funzione motoria: sarcopenia, osteoporosi post menopausale, lombalgia cronica e fibromialgia. Ciò è dovuto al fatto che favorisce un incremento della **forza**, della **potenza** e della **resistenza** muscolare riducendo la debolezza muscolare, il rischio di cadute e incrementando la stabilità.

Un training prolungato di WBV (da un minimo di quattro settimane, fino ad otto mesi) favorisce un incremento della velocità del cammino e un miglioramento complessivo della performance motoria misurabile attraverso il time up and go test (TUG) e il ten meter walk test (10MWT) .



Stimolazione Acustica

La stimolazione Acustica si basa sull'utilizzo di casse, altoparlanti o auricolari che producono suoni di svariata natura ad un numero prefissato di decibel(dB) o di decibel A (DbA) che differiscono dai decibel poiché considerano l'intensità del suono tenendo conto della distanza del soggetto dalla fonte sonora.



Esistono differenti modalità di stimolazione acustica:

- Utilizzo di un metronomo (RAS: Rhythmic Acoustic Stimulation)
- Musica
- Suoni e rumori ambientali (naturali o artificiali – rumore di una fontana, versi di animali, clacson ecc..)

Stimolazione Acustica

La stimolazione acustica può essere definita un ottimo strumento volto a favorire l'incremento del controllo posturale essenzialmente in quei soggetti che manifestano deficit di natura sensoriale (propriocettiva, vestibolare o visiva) o che manifestano compromissioni motorie come i parkinsoniani.



In condizioni di ridotta propiocezione (dovuta ad una superficie spugnosa posta al di sotto della pianta dei piedi), la generazione di uno stimolo acustico consente una riduzione notevole delle oscillazioni posturali laterali e, in particolar modo, della lunghezza del percorso del centro di pressione (CoP) rilevato da un'apposita pedana di forza.



Stimolazione Ritmica Acustica

La RAS (Rhythmic Auditory Stimulation) è una tecnica di stimolazione acustica «ritmica», applicata e utilizzata migliorare la condizione di equilibrio grazie al fenomeno della sincronia, soprattutto per movimenti che sono “*biologicamente ritmici*” come la deambulazione. Essa sfrutta gli effetti fisiologici che il ritmo ha sulla funzione motoria per migliorare il controllo dei movimenti nella riabilitazione e rieducazione in pazienti con deficit della marcia di entità significativa. Le frequenze di stimolazione possono essere:

frequenze standardizzate che, secondo alcuni autori, consentono una migliore sincronizzazione del movimento

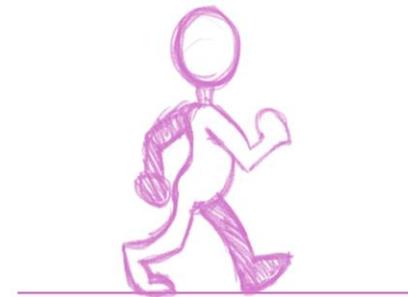
frequenze modulate in base alla cadenza media dei soggetti in esame dal momento che il cammino non è un movimento standardizzato

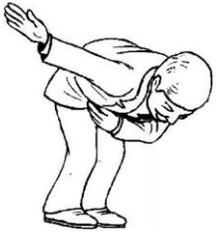
Stimolazione Ritmica Acustica

L'ipotesi su cui si basa la RAS è che il ritmo uditivo si sincronizzi con quello motorio attraverso connessioni neuronali vicine tra le aree corticali uditive e motorie.

Si ipotizza che le attività motorie regolate da stimoli sensoriali esterni (come nel caso di un metronomo) favoriscano la formazione di un percorso attraverso le aree corticali premotorie capace di bypassare efficacemente la regione dei gangli della base, che sono notoriamente compromessi nel caso del Parkinson, causando una riduzione della bradicinesia e dei deficit motori associati.

Ancora è possibile che la stimolazione ritmico-acustica possa aiutare i pazienti a sincronizzare tra loro rispettivamente i tempi di contatto del piede al suolo (heel strike) e di sollevamento (toe off) determinando così una maggiore fluidità nel cammino ed una minore variabilità.





scientific reports



OPEN

The effects of different frequencies of rhythmic acoustic stimulation on gait stability in healthy elderly individuals: a pilot study

Roberta Minino^{1,7}, Emahnuel Troisi Lopez^{1,7}, Pierpaolo Sorrentino^{2,3}, Rosaria Rucco^{1,3}, Anna Lardone⁴, Matteo Pesoli¹, Domenico Tafuri¹, Laura Mandolesi⁵, Giuseppe Sorrentino^{1,3,6}✉ & Marianna Liparoti¹

Obiettivo

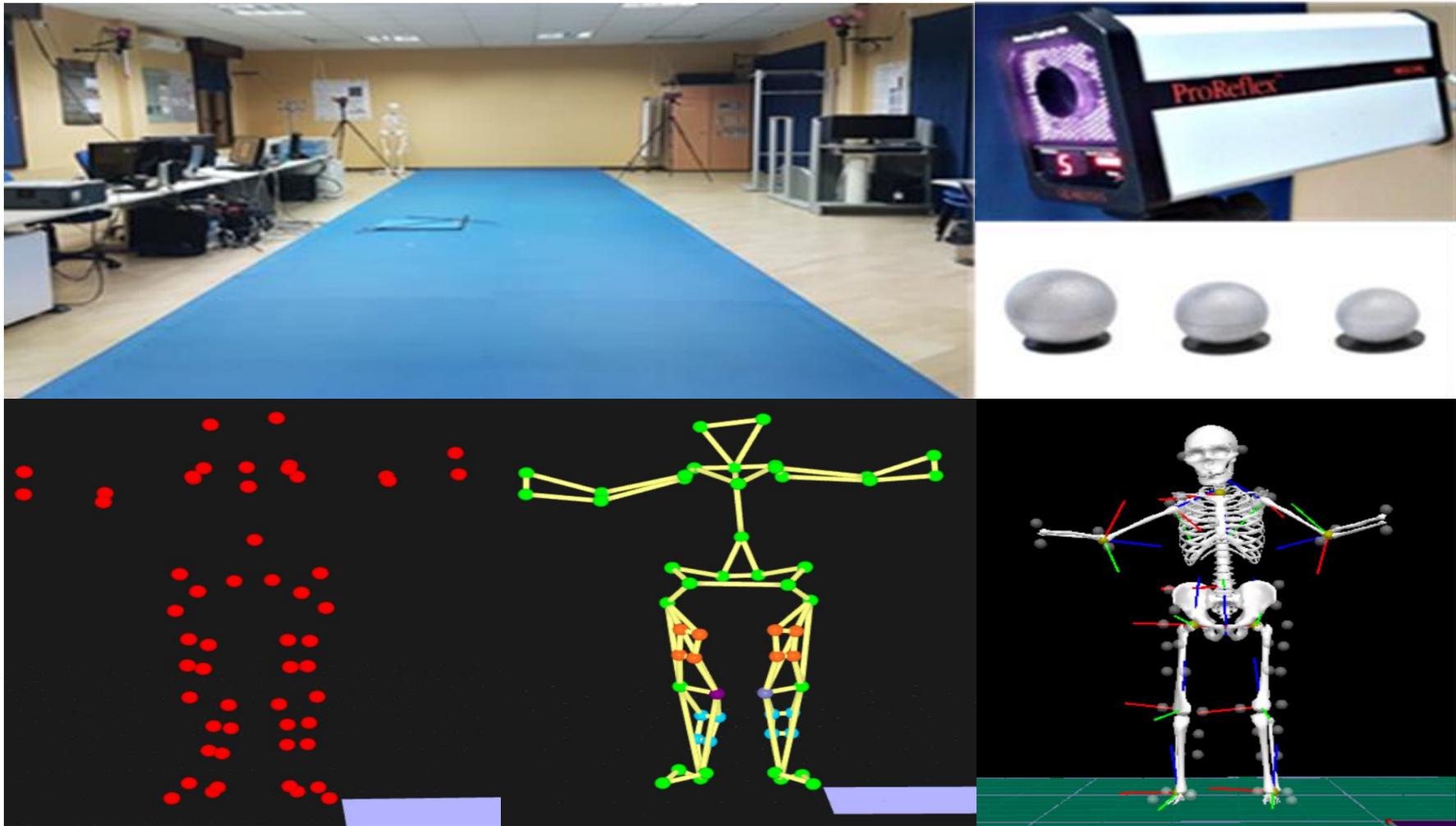


Lo scopo di questo lavoro è

stato quello di verificare l'effetto di due **frequenze fisse** (80 bpm e 120 bpm) e di 3 **frequenze variabili** (più bassa (90%), uguale (100%) e più alta (110%) della cadenza **cammino in un gruppo di** **soggetti anziani sani** media di ciascun soggetto, sui parametri spazio-

† *Qual è la migliore frequenza?* †

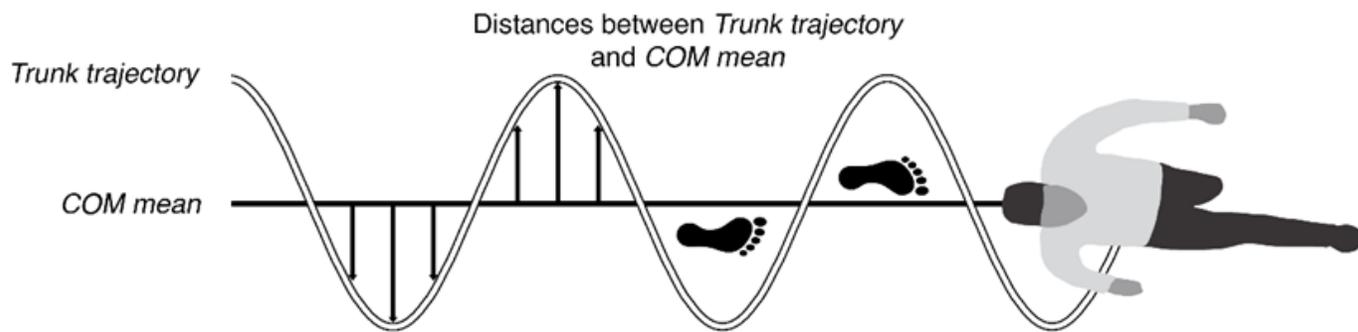
Metodi



Parametri:

Spatio-temporal gait parameters: Velocity Parameters (e.g. speed, stance time, swing time, cycle time, and Double limb support time (DLS time)), Spatial Parameters (stride length, stride width), Coefficients of Variability (CV), Trunk Displacement Index (TDI).

Trunk Displacement Index (TDI)



White line

- Trunk trajectory

Black line

- COM mean

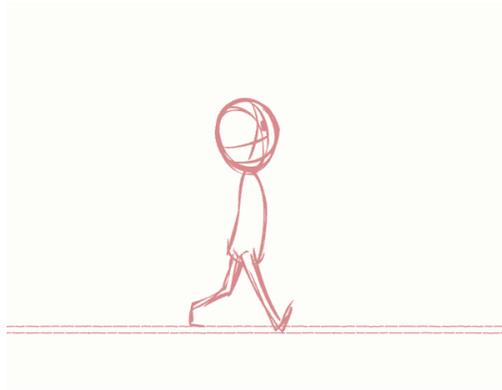
Arrows

- Distances between trunk trajectory and COM mean

Il TDI è un valore che indica lo spostamento della traiettoria del tronco rispetto al COM. Come si può vedere dall'immagine, la linea bianca rappresenta l'oscillazione del tronco, la linea nera, rappresenta il COM medio e il TDI è calcolato come il rapporto della somma delle variazioni dell'oscillazione del tronco alla somma delle variazioni del COM.

Protocollo

1. *In una prima fase abbiamo registrato il cammino semplice dei partecipanti*



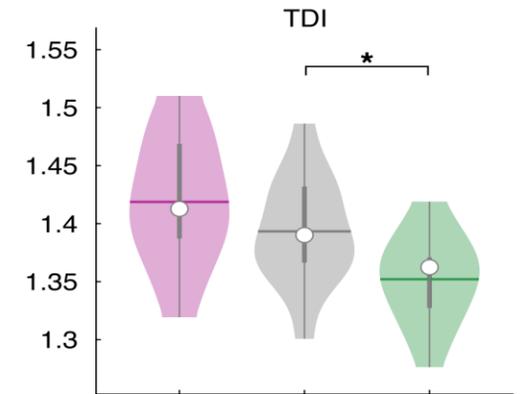
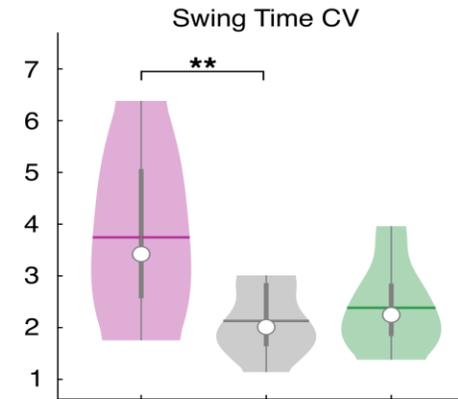
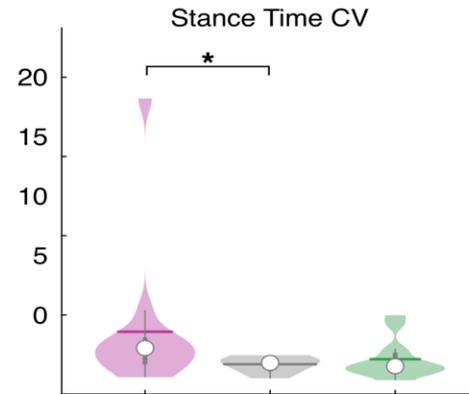
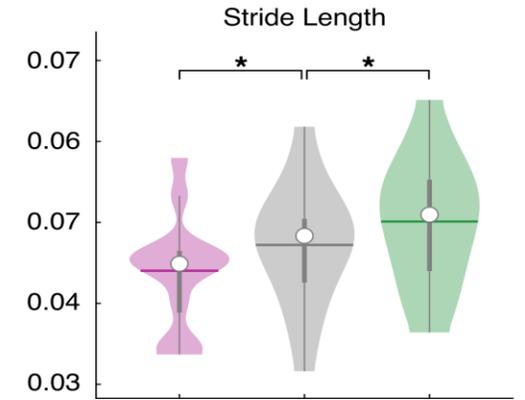
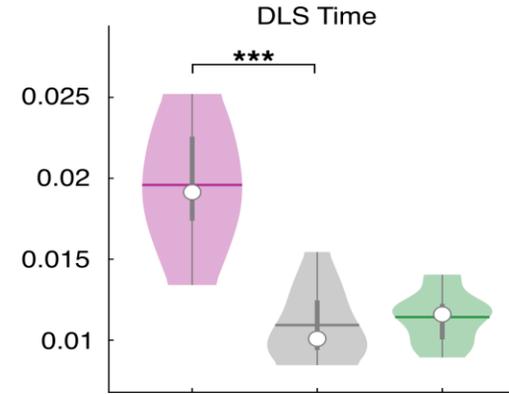
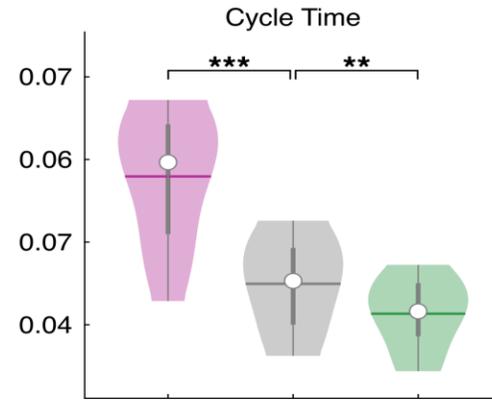
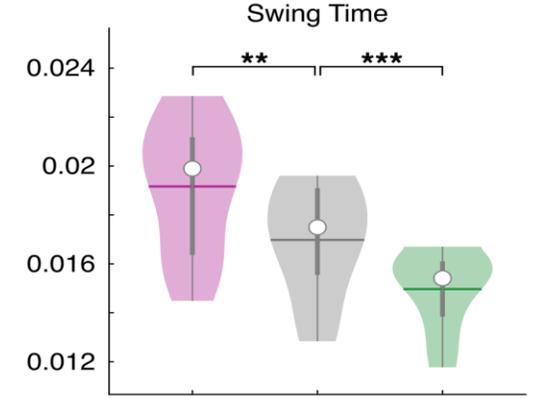
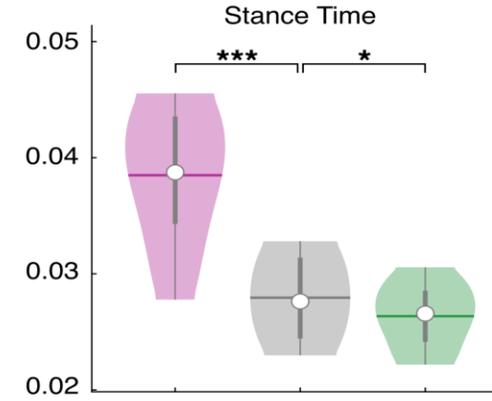
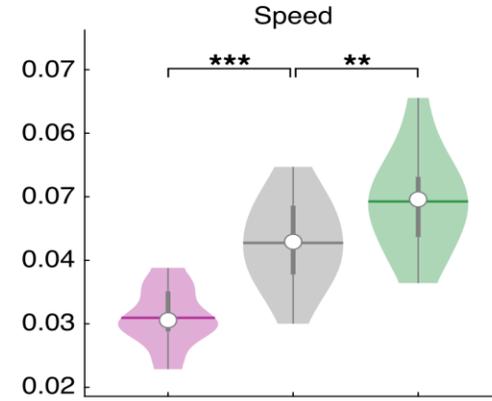
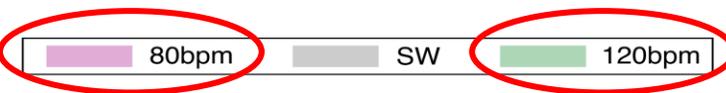
CADENZA

2. *Nella seconda abbiamo registrato la camminata con 6 condizioni sperimentali :*

- a) Cammino semplice
- b) RAS 80 bpm;
- c) RAS at 120 bpm;
- d) RAS con frequenza al 90% della cadenza media di ciascun soggetto (90%-AC);
- e) RAS con frequenza al 110% della cadenza media di ciascun soggetto (110%-AC);
- f) RAS con frequenza uguale alla cadenza media di ciascun soggetto (100%-AC);

Results and Discussion

Comparison between Simple Walking and Fixed Frequencies



Legend

SW: Simple Walking

* $p < 0,05$

** $p < 0,01$,

*** $p < 0,001$.

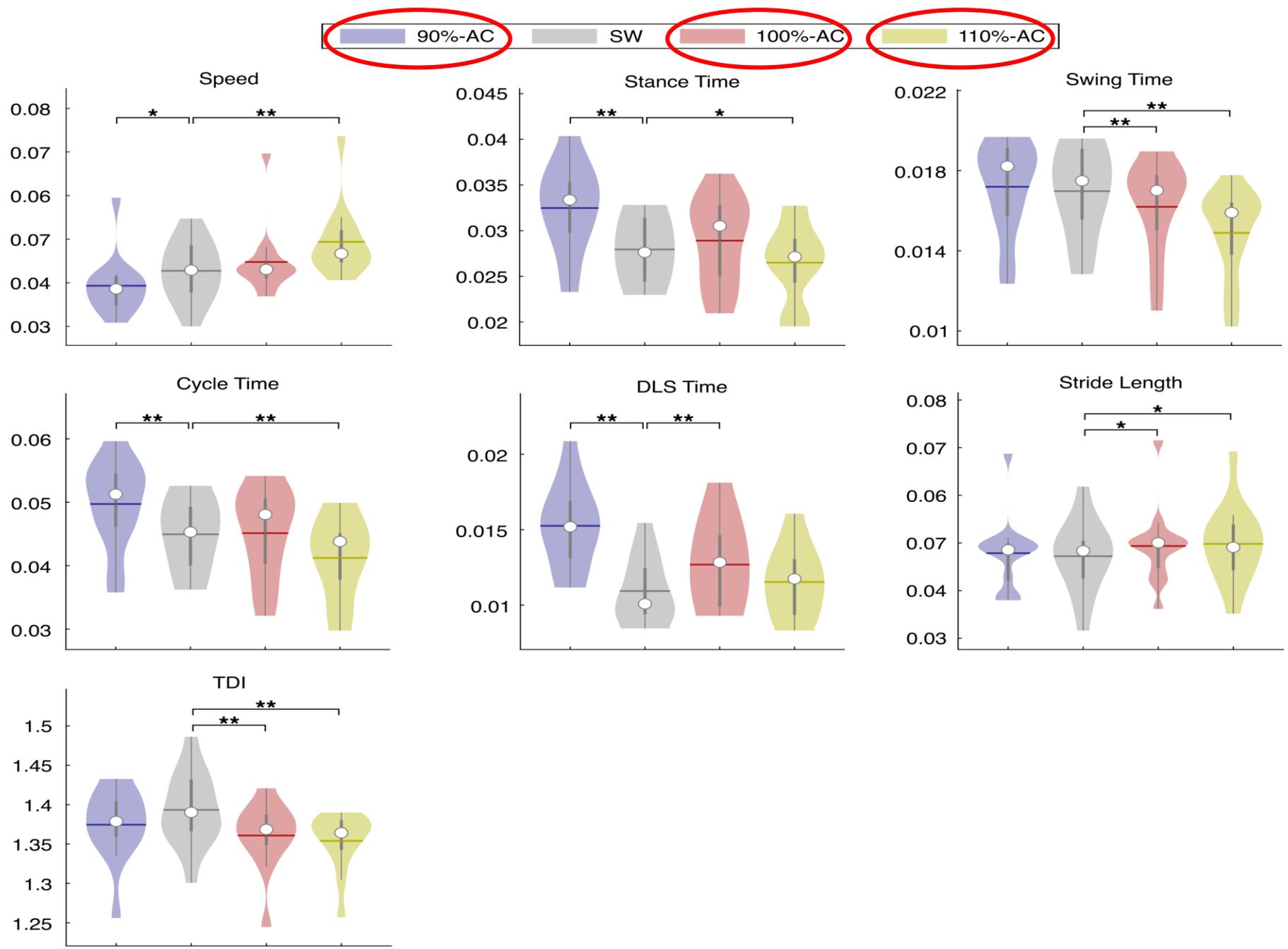
Results and Discussion

Comparison between Simple Walking and Variable Frequencies

Legend

- SW:** Simple Walking
- 90%-AC:** 90% of average cadence
- 100%-AC:** 100% of average cadence
- 110%-AC:** 110% of average cadence

- * $p < 0,05$
- ** $p < 0,01$,
- *** $p < 0,001$.



Conclusioni

- L'utilizzo di frequenze fisse potrebbe essere una strategia impropria. Infatti, le frequenze fisse non tengono conto delle caratteristiche individuali dell'andatura e possono comportare l'applicazione di stimoli troppo lontani dalla naturale cadenza individuale.
- La frequenza al 90% non causa nè un miglioramento nè un peggioramento del cammino.
- La frequenza al 110% della cadenza media, ha causato un miglioramento dei parametri spazio-temporali e di stabilità.
- Un minimo miglioramento della stabilità è stato riscontrato anche con una frequenza di stimolazione pari alla cadenza media di ciascun soggetto.