

# Università degli Studi di Padova

CORSO DI LAUREA IN FISIOTERAPIA  
PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Veronica Macchi*

## TESI DI LAUREA

EFFICACIA DEL TRATTAMENTO ATTRAVERSO L'UTILIZZO DELLA REALTA'  
AUMENTATA E VIRTUALE, NELLA RIABILITAZIONE DELLE PROBLEMATICHE  
VESTIBOLARI E DELLE VERTIGINI DI ORIGINE CENTRALE. ANALISI DELLA  
LETTERATURA

RELATORE: Prof.ssa Varotto Mariangela

LAUREANDO: Pauletto Luca

Anno Accademico 2022/2023

## INDICE

<b>RIASSUNTO</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	5
<b>2. ANATOMIA DEL SISTEMA VESTIBOLARE</b> .....	7
2.1. <i>Il sistema vestibolare</i> .....	7
2.2. <i>Anatomia del sistema di controllo motorio</i> .....	11
<b>3. PROBLEMATICHE DELLE VERTIGINI</b> .....	15
3.1. <i>Classificazione</i> .....	15
3.2. <i>Epidemiologia</i> .....	15
3.3. <i>Eziopatogenesi</i> .....	16
3.4. <i>Quadro clinico</i> .....	23
3.4.1. <i>Segni e sintomi</i> .....	23
3.4.2. <i>Diagnosi</i> .....	24
3.4.3. <i>Diagnosi differenziale</i> .....	25
3.4.4. <i>Red flags</i> .....	26
3.5. <i>Test clinici</i> .....	27
3.6. <i>Trattamento farmacologico delle vertigini</i> .....	28
<b>4. REALTÀ AUMENTATA E VIRTUALE</b> .....	30
4.1. <i>Realtà aumentata</i> .....	30
4.2. <i>Realtà virtuale</i> .....	31
4.3. <i>Interazione a livello cerebrale</i> .....	32
4.4. <i>Effetti e utilizzi fisioterapici</i> .....	34
<b>5. MATERIALI E METODI</b> .....	37
5.1. <i>Oggetto dello studio</i> .....	37
5.2. <i>Criteri di eleggibilità</i> .....	38
5.3. <i>Selezione degli studi</i> .....	39
<b>6. EVIDENZE DELLA LETTERATURA</b> .....	40
<b>7. DISCUSSIONE</b> .....	50
<b>8. CONCLUSIONI</b> .....	54
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	55

## RIASSUNTO

**Background:** le vertigini rappresentano un disturbo vestibolare ampiamente diffuso e invalidante che colpisce milioni di individui in tutto il mondo. Questo disturbo colpisce circa il 20-30% della popolazione generale. L'avvento delle nuove tecnologie, come la realtà aumentata e virtuale, ha suscitato un notevole interesse nell'applicazione di tali strumenti all'ambito della riabilitazione vestibolare al fine di migliorare l'efficacia del trattamento. Le vertigini sono caratterizzate da una sensazione soggettiva di movimento o rotazione dell'ambiente circostante o del proprio corpo, spesso accompagnate da instabilità, nausea e ansia che possono avere un impatto significativo sulla qualità di vita dei pazienti. Queste tecnologie offrono nuove opportunità per la diagnosi, la terapia e la valutazione dei disturbi vestibolari, aprendo la strada a nuove prospettive nella gestione di pazienti affetti da vertigini e disfunzioni dell'equilibrio.

**Obiettivo:** il seguente studio si è posto l'obiettivo di indagare, attraverso un'analisi della letteratura, l'efficacia della realtà virtuale e della realtà aumentata nella somministrazione del trattamento riabilitativo vestibolare in pazienti affetti da vertigini e da problematiche vestibolari.

**Materiali e metodi:** sono stati utilizzati i database PubMed e PEDro per la selezione della letteratura, rispettando i seguenti criteri di inclusione. Partecipanti: adulti con diagnosi di problematica vestibolare o con diagnosi di vertigine centrale. Intervento: riabilitazione vestibolare attraverso l'utilizzo della realtà aumentata e virtuale. Confronto: riabilitazione vestibolare tradizionale, altri metodi di trattamento per la patologia. Outcome: vengono considerati gli studi che portano misure di valutazione validate, sia di carattere oggettivo, quali i punteggi della posturografia, che di carattere soggettivo, quali scale sulla percezione di miglioramento dei sintomi e sulla soddisfazione del trattamento (Dizziness Handicap Inventory, Vertigo Symptom Scale—Short Form questionnaire, Activities-specific Balance Confidence questionnaire, Dizziness Analogue Scale or Visual Analogue Scale).

**Risultati:** dai dati raccolti nei 7 studi selezionati, si evince che l'utilizzo della realtà virtuale come intervento riabilitativo vestibolare è risultato efficace nel migliorare i punteggi della Dizziness Handicap Inventory, del Vertigo Symptom Scale-Short Form questionnaire, della Visual Analogue scale e della posturografia.

**Conclusioni:** L'applicazione della realtà virtuale nella riabilitazione vestibolare è risultata efficace nel ridurre i sintomi di vertigine, migliorare sia quantitativamente che qualitativamente l'equilibrio, aumentare l'aderenza del paziente al trattamento e aumentare il livello generale di soddisfazione del paziente. Data l'innovazione dei trattamenti attraverso la realtà virtuale sono necessari ulteriori

studi per convalidare questi risultati e per costruire delle linee guida certificate. In ogni caso i risultati raggiunti dall'analisi della letteratura attuale risultano promettenti per il futuro.

## ABSTRACT

**Background:** vertigo is a widespread and debilitating vestibular disorder that affects millions of individuals worldwide. Vertigo is characterised by a subjective feeling of movement or rotation of one's surroundings or body, often paired with instability, nausea and anxiety that can have a significant impact on patients' quality of life.

This disorder affects approximately 20-30% of the overall population.

The advent of new technologies, such as augmented and virtual reality, has raised a considerable interest in the application of these tools to the field of vestibular rehabilitation in order to improve the efficiency of the treatment. These technologies offer new opportunities for the diagnosis, the therapy and the assessment of vestibular diseases, making room for new perspectives in the management of patients who suffer from vertigo and balance dysfunctions.

**Aim:** the following study aims to investigate, through a literature review, the efficiency of virtual and augmented reality in the process of administration of the vestibular rehabilitation treatment in patients suffering from vertigo and vestibular diseases.

**Materials and methodologies:** the two databases PubMed and REDro have been used for the selection of the literature, respecting the following inclusion criteria. Participants: adults with a diagnosis of vestibular issues or with a diagnosis of central vertigo. Intervention: vestibular rehabilitation through the use of augmented and virtual reality. Comparison: traditional vestibular rehabilitation, other treatment methods for the condition. Outcome: studies with validated assessment measures, both objective, such as posturography scores and subjective, such as scales on perceived symptom improvement and treatment satisfaction are taken into account (Dizziness Handicap Inventory, Vertigo Symptom Scale-Short, Form questionnaire, Activities-specific, Balance Confidence questionnaire, Dizziness Analogue Scale or Visual Analogue Scale).

**Results:** from all the data collected in the seven selected studies, it is deducible that the use of virtual reality as a vestibular rehabilitation intervention is effective in improving scores on the Dizziness Handicap Inventory, the Vertigo Symptom Scale-Short Form questionnaire, the Visual Analogue scale and the posturography.

**Conclusions:** the application of virtual reality in vestibular rehabilitation has proven effective in reducing vertigo symptoms, improving balance both quantitatively and qualitatively, increasing patient adherence to the treatment and increasing the overall level of satisfaction in the patient.

Given the innovation of treatments through virtual reality, further studies are needed to validate these results and to build certified guidelines. However, the results reached through the analysis of the current literature are promising for the future.

## CAPITOLO PRIMO

### INTRODUZIONE

Le vertigini rappresentano un disturbo vestibolare diffuso e invalidante che colpisce milioni di persone in tutto il mondo. Queste sensazioni spiacevoli di sbandamento e instabilità, spesso accompagnate da nausea e ansia, possono avere un impatto significativo sulla qualità di vita dei pazienti, limitando la loro capacità di svolgere le attività quotidiane in modo efficace e sicuro; se trascurate, possono portare a conseguenze significative, inclusi incidenti domestici o sul luogo di lavoro e perdita di fiducia nei movimenti. La vertigine può essere causata da una varietà di condizioni, tra cui disturbi dell'orecchio interno, lesioni cerebrali, o addirittura lo stress.

La riabilitazione vestibolare è un aspetto fondamentale nella gestione delle vertigini, poiché mira a ridurre i sintomi e a ripristinare l'equilibrio e la stabilità del paziente. La riabilitazione vestibolare tradizionale, basata su esercizi di abitudine e adattamento, è stata la pietra angolare del trattamento per decenni. Tuttavia, nonostante i risultati positivi che ha dimostrato, la sua efficacia potrebbe essere limitata dalla mancanza di coinvolgimento del paziente e dalla difficoltà nel monitorare il progresso. La realtà aumentata e virtuale si sono affermate come promettenti tecnologie nel campo della riabilitazione, offrendo nuove opportunità per migliorare l'efficacia e l'esperienza del paziente durante il processo di recupero.

L'innovazione nel campo della realtà aumentata e virtuale offre un'opportunità unica per affrontare queste sfide. La realtà aumentata combina il mondo fisico con elementi virtuali, creando un ambiente interattivo e coinvolgente. Questa tecnologia può essere utilizzata per progettare esercizi di riabilitazione personalizzati e coinvolgenti che incoraggiano i pazienti a partecipare attivamente al loro processo di guarigione.

## CAPITOLO SECONDO

### ANATOMIA DEL SISTEMA VESTIBOLARE

Il sistema vestibolare è un sistema sensoriale complesso che coinvolge l'interazione tra diverse componenti anatomiche e funzionali che hanno il compito di rilevare il movimento della testa e le forze gravitazionali esercitate sul corpo. Le informazioni provenienti da queste strutture sono elaborate dai centri vestibolari nel cervello. Questo processo consente al corpo di mantenere l'equilibrio, di orientarsi correttamente nello spazio durante il movimento e di elaborare in modo appropriato le informazioni visive durante gli spostamenti. Il sistema vestibolare è suddiviso in una componente periferica e una componente centrale. La componente periferica include i canali semicircolari, gli otoliti (utricolo e sacco) e il nervo vestibolare. D'altra parte, la componente centrale comprende il complesso nucleare vestibolare, il vestibolo-cerebello, il tronco encefalico, il midollo spinale e la corteccia vestibolare. Queste due componenti lavorano in sinergia per regolare la funzione vestibolare, consentendo al corpo di percepire e gestire il movimento, l'equilibrio e l'orientamento nello spazio.(1)

#### **Il sistema vestibolare**

Il sistema vestibolare è una componente essenziale dell'orecchio interno, situato nella capsula otica all'interno dell'osso temporale. È suddiviso in due parti principali: il labirinto osseo e il labirinto membranoso. Il labirinto osseo comprende la coclea, il vestibolo e i canali semicircolari ed è composto da una serie di cavità anatomiche situate all'interno della piramide dell'osso temporale le quali ospitano il labirinto membranoso, che è la parte centrale e funzionale dell'orecchio interno. Il labirinto membranoso è costituito da organi cavi rivestiti da una tonaca connettivale e uno strato epiteliale che si differenzia ulteriormente per dar luogo ai recettori vestibolari, responsabili della percezione dell'equilibrio, e ai recettori acustici, che consentono la percezione dell'udito.

Tra il labirinto osseo e il labirinto membranoso si crea uno spazio chiamato spazio perilinfatico, che contiene un fluido noto come perilinfa. Nel labirinto membranoso, invece, è contenuta un'altra sostanza fluida chiamata endolinfa. Questi due fluidi svolgono ruoli cruciali nelle funzioni dell'orecchio interno e nella percezione sensoriale dell'equilibrio e dell'udito. (1)

#### Le cellule ciliate

Queste strutture sono i principali recettori sensoriali del sistema vestibolare. Esistono due tipi di cellule ciliate nel sistema vestibolare: quelle di tipo I e quelle di tipo II.

Le cellule ciliate di tipo I hanno una struttura caratterizzata da una base arrotondata e sono circondate da una sorta di calice nervoso proveniente dalla fibra nervosa afferente. Queste cellule sono associate principalmente a afferenze irregolari, che presentano una variabilità significativa nella loro attività a riposo.

Le cellule ciliate di tipo II, invece, sono di forma colonnare. Queste cellule sono generalmente coinvolte in sinapsi con afferenze regolari, che mostrano una minore variabilità nella loro attività a riposo. Entrambi i tipi di cellule ciliate ricevono connessioni efferenti dai nuclei vestibolari, che modulano la loro sensibilità e contribuiscono al controllo dell'equilibrio. La stimolazione delle cellule ciliate avviene attraverso il movimento delle stereociglia presenti sulla loro superficie. Quando la testa si muove, le stereociglia si inclinano, causando l'apertura meccanica dei canali di trasduzione. Ciò porta all'ingresso di ioni potassio ( $K^+$ ), determinando la depolarizzazione delle cellule ciliate e l'aumento dell'attività delle fibre nervose vestibolari afferenti. In alternativa, quando le stereociglia si flettono lontano dal chinociglio, si verifica l'iperpolarizzazione delle cellule ciliate, riducendo l'attività delle fibre nervose vestibolari. (1)

In sintesi, le cellule ciliate sono fondamentali per la percezione dell'equilibrio e rispondono ai cambiamenti nella posizione e nel movimento della testa, trasmettendo queste informazioni al cervello attraverso le fibre nervose vestibolari afferenti. La loro sensibilità è regolata da connessioni efferenti dai nuclei vestibolari.

### L'utricolo e il sacco

Sono componenti del sistema vestibolare responsabili della rilevazione dell'orientamento della testa nello spazio. Queste strutture rispondono all'accelerazione lineare, alle forze gravitazionali e all'inclinazione della testa. Ognuna di esse contiene una regione sensoriale nota come macula, che svolge diverse funzioni legate allo spostamento del soggetto: nell'utricolo rileva il movimento sul piano orizzontale, mentre quella nel sacco rileva il movimento sul piano verticale.

La macula è rivestita internamente da una membrana gelatinosa che contiene piccole particelle di carbonato di calcio chiamate otoliti. Le cellule ciliate sensoriali del sistema vestibolare sporgono attraverso questa membrana otolitica. Gli otoliti, essendo più densi dell'endolinfa, permettono alla gravità di piegare le stereociglia delle cellule ciliate quando la testa è in posizione stazionaria. Il movimento lineare o l'inclinazione della testa genera una forza tra la membrana otolitica e la superficie della macula, causando la flessione delle cellule ciliate. (1)



Le stereociglia nella macula sono orientate lungo una linea curva chiamata striola, che è un'area di assottigliamento nell'utricolo e un'area di ispessimento nel sacco. Le chinociglia e le stereociglia delle cellule ciliate sono orientate verso la striola nell'utricolo e lontano dalla striola nel sacco. Questa distribuzione diversificata delle cellule ciliate consente loro di rispondere in modi variabili in base all'angolazione della testa. Questo complesso modello di risposta è fondamentale per la trasmissione di informazioni precise sulla posizione della testa al sistema nervoso centrale. Inoltre, la macula presenta un'importante capacità di adattamento. Quando l'inclinazione della testa persiste per più di pochi secondi, le cellule ciliate piegate e i potenziali di membrana depolarizzati ritornano gradualmente alla loro condizione normale. Questo adattamento permette alle cellule ciliate di rispondere efficacemente a ulteriori cambiamenti nella posizione della testa.

### I canali semicircolari membranosi

Strutture anatomiche all'interno dell'orecchio interno, divisi in tre parti: superiore, posteriore e laterale. Essi occupano circa 1/6 dello spazio del corrispondente canale semicircolare osseo e contengono un fluido chiamato perilinfa nello spazio tra il canale osseo e quello membranoso.

All'interno dei canali semicircolari membranosi, è possibile distinguere due componenti: un braccio semplice e un braccio ampollare che presenta una dilatazione chiamata ampolla membranosa. Entrambi questi bracci si connettono all'utricolo. All'interno di ciascuna ampolla membranosa, si trova una struttura a forma di sella di cavallo chiamata cresta ampollare, che funge da recettore per le informazioni vestibolari.

### Ganglio vestibolare

Componente essenziale del sistema vestibolare dell'orecchio interno, ed è fondamentale per la nostra percezione dell'equilibrio e della posizione spaziale. Il ganglio vestibolare è una raccolta di cellule nervose sensoriali, noto anche come ganglio di Scarpa, situato nella porzione mediale del meato uditivo interno. (1)

Questo ganglio è responsabile per la ricezione delle informazioni relative all'accelerazione lineare, alla forza di gravità e all'inclinazione del capo. Le cellule nervose all'interno del ganglio vestibolare sono sensibili ai movimenti della testa e delle strutture dell'orecchio interno, come l'utricolo, il sacco e i canali semicircolari, strutture, sulle quali arrivano le fibre nervose periferiche del ganglio.

Il ganglio vestibolare è importante per diagnosticare e trattare disturbi dell'equilibrio, poiché le sue anomalie o danni possono causare problemi come vertigini, instabilità e difficoltà nella percezione della posizione del corpo.

La fusione degli assoni delle divisioni superiore e inferiore del ganglio vestibolare si uniscono al nervo cocleare per formare il nervo vestibolare. Solo quando le fibre raggiungono il tronco encefalico presso la giunzione pontomidollare avviene la separazione e conseguente distinzione tra il nervo vestibolare e il nervo cocleare.

### Complesso nucleare vestibolare

Questa è una struttura chiave nel sistema vestibolare dell'orecchio interno, composta da quattro nuclei principali: mediale, superiore, laterale e inferiore. Questi nuclei elaborano le informazioni provenienti dall'organo dell'equilibrio e svolgono diverse funzioni.

Il nucleo vestibolare mediale è il più grande e contribuisce al riflesso vestibolooculare, oltre a coordinare il movimento della testa e del collo attraverso proiezioni nel midollo spinale cervicale.

Il nucleo vestibolare superiore partecipa anche al riflesso vestibolooculare e riceve input dalle creste ampollari superiori e posteriori.

Il nucleo vestibolare laterale ha un ruolo nel controllo posturale e dell'equilibrio, ricevendo input da diverse fonti, tra cui i canali semicircolari, le macule e il vestibolo-cerebello.

Infine, il nucleo vestibolare inferiore riceve input da entrambe le macule e proietta informazioni ai nuclei vestibolari e al cervelletto.

Insieme, questi nuclei formano una rete complessa che ci consente di percepire e rispondere alle variazioni dell'equilibrio e dell'orientamento spaziale.

### Cervelletto

Il cervelletto, nel contesto del sistema vestibolare, svolge un ruolo fondamentale come un processore adattivo. La sua funzione principale è monitorare e, se necessario, regolare l'input vestibolare attraverso meccanismi inibitori.

Il "vestibolo-cerebello", parte del cervelletto più antica e denominata anche archicerebello, è composto dal lobo flocculonodulare e dalla corteccia vermiciana. Il cervelletto ipsilaterale è in grado di inviare informazioni efferenti sia ai nuclei vestibolari del lato ipsilaterale che al nucleo fastigio ipsilaterale. Il flocculo cerebellare regola il guadagno del riflesso vestibolooculare, mentre il nodulo cerebellare ha un ruolo nella regolazione della durata di questo riflesso, oltre a essere coinvolto nell'elaborazione delle informazioni provenienti dalle macule. Infine, il verme antero-superiore del cervelletto contribuisce alla regolazione del riflesso vestibolospinale, integrando i segnali vestibolari e gli input propriocettivi dai muscoli assiali.

In sintesi, il cervelletto è un elemento cruciale nel controllo e nell'adattamento del sistema vestibolare, contribuendo alla nostra capacità di mantenere l'equilibrio, orientarci nello spazio e regolare i riflessi posturali. (2)

Le connessioni tra la corteccia e il sistema vestibolare costituiscono un campo di studio complesso, con molte questioni ancora irrisolte. Nonostante ciò, alcune aree corticali di livello superiore coinvolte nella percezione e nell'elaborazione delle informazioni vestibolari sono state identificate. Nei primati, tra cui gli esseri umani, le principali aree corticali coinvolte includono la corteccia vestibolare parietoinsulare (PIVC), l'area 2v del solco intraparietale e l'area 3av nel solco centrale. Tra queste, il PIVC sembra essere la principale regione corticale vestibolare, poiché integra le informazioni provenienti da altre aree corticali vestibolari.

Studi sugli esseri umani hanno suggerito che la regione di elaborazione corticale più rilevante potrebbe trovarsi nella corteccia parietale o insulare.

È importante notare che sono state osservate anche connessioni vestibolari nel talamo e nell'ippocampo. Nel talamo, alcune fibre vestibolari ascendenti stabiliscono connessioni nel nucleo ventrale posteriore prima di raggiungere la corteccia. L'ippocampo, coinvolto nell'elaborazione dell'orientamento spaziale e della memoria spaziale, sembra richiedere l'input vestibolare relativo al movimento della testa e del corpo per svolgere questa funzione.

Sebbene le connessioni corticali di livello superiore nel sistema vestibolare siano complesse e ancora oggetto di studio, alcune regioni chiave coinvolte nell'elaborazione delle informazioni vestibolari sono state identificate nei primati, inclusi gli esseri umani. Tuttavia, ulteriori ricerche sono necessarie per una comprensione più approfondita di queste connessioni e delle loro funzioni specifiche. (2)

### **Anatomia del sistema di controllo motorio**

Alla base della problematica delle vertigini c'è un concetto che verrà approfondito in questo paragrafo, ovvero il controllo motorio del paziente. “Treleaven definisce il controllo motorio come la capacità del soggetto di eseguire la miglior performance di movimento possibile con il minor dispendio energetico, mantenendo inalterate le condizioni di orizzontalità dello sguardo e la stabilità della base d'appoggio.” (3)

Il controllo motorio è il risultato dell'integrazione continua di tre sistemi fondamentali: i sensori somatosensoriali, i sensori vestibolari e il sistema visivo. Questi sistemi interagiscono tra loro attraverso connessioni anatomiche complesse, creando una rete di comunicazione all'interno del

nostro corpo. Il risultato di questa interazione è la produzione di movimenti corporei che sono sia efficienti dal punto di vista energetico che di alta qualità dal punto di vista funzionale.

Dal punto di vista neurofisiologico, i propriocettori cervicali sono strettamente collegati al midollo spinale, che a sua volta ha numerose connessioni importanti, tra cui:

1. I nuclei della colonna dorsale, che trasmettono informazioni al talamo. Da qui, emergono due vie fondamentali: la via pallido-talamo-corticale, che è parte del sistema extrapiramidale, e la via cerebello-talamo-corticale, che è responsabile del controllo del tono muscolare.

2. La formazione reticolare, una delle strutture più antiche e sofisticate del sistema nervoso. È costituita da una vasta quantità di neuroni estremamente piccoli, con un diametro di circa 10µm. Questi neuroni sono distribuiti all'interno del bulbo, del ponte e del mesencefalo, intercalati tra i nuclei di relè e i nervi cranici e svolgono un ruolo fondamentale nella regolazione delle funzioni viscerali più ancestrali.

In breve, la formazione reticolare è una componente cruciale del sistema nervoso che regola una vasta gamma di funzioni vitali, comprese il ritmo sonno-veglia, lo stato di coscienza e il controllo della respirazione.

3. I nuclei vestibolari: fondamentali per il mantenimento dell'equilibrio, sono localizzati lateralmente al solco limitante. Questa struttura comprende tre canali semicircolari: il canale semicircolare superiore, posteriore e laterale. Ogni canale presenta una dilatazione anteriore in cui sono collocate le cellule ciliate, sensibili alle variazioni inerziali del liquido contenuto all'interno dei canali semicircolari.

Il percorso delle informazioni inizia con il primo neurone, situato nel ganglio vestibolare o di Scarpa. Questo neurone è di tipo omeopodo, caratterizzato da una forma allungata con il nucleo al centro e due prolungamenti polari opposti:

- Il prolungamento centrifugo si collega alle cellule ciliate nei canali semicircolari.
- Il prolungamento centripeto, più lungo, trasporta le informazioni dai canali semicircolari e

forma il nervo vestibolare.

Le informazioni propriocettive vengono quindi trasmesse al secondo neurone attraverso il nervo vestibolare. Queste informazioni entrano nella colonna somatica sensitiva speciale, che è divisa in quattro nuclei situati alla transizione tra il bulbo e il ponte:

- Il nucleo vestibolare mediale (anche noto come triangolare o di Schwalbe), che è il più voluminoso.
- Il nucleo vestibolare laterale (di Deiters).
- Il nucleo vestibolare superiore (di Bechterew).
- Il nucleo vestibolare inferiore (spinale), poiché si estende verso il basso fino al midollo spinale.

Insieme, questi nuclei vestibolari svolgono un ruolo essenziale nella regolazione dell'equilibrio e nell'elaborazione delle informazioni relative alla posizione e al movimento della testa.

4. I nuclei trigeminali, che si collegano al cervelletto e sono coinvolti in molteplici funzioni sensoriali e motorie.

- Nucleo pontino del trigemino (nucleo principale), situato nel ponte: questo nucleo rappresenta il secondo neurone della sensibilità esteroceettiva epicritica del trigemino.
- Nucleo spinale del trigemino, localizzato nel bulbo fino ai mielomeri C1-4: questo nucleo rappresenta il secondo neurone della sensibilità esteroceettiva protopatica, termica, dolorifica e propriocettiva del trigemino.
- Nucleo mesencefalico del trigemino, questo nucleo è responsabile del primo neurone della sensibilità propriocettiva della faccia. I suoi neuroni sono tra i più grandi e si trovano nel mesencefalo.

5. Il nucleo cervicale centrale, che ha connessioni con il collicolo superiore e svolge un ruolo importante nelle funzioni visive.

Le connessioni del rachide cervicale svolgono un ruolo cruciale nella programmazione dei gesti e nel mantenimento della posizione del corpo rispetto all'ambiente circostante. Problemi a livello cervicale possono portare a sensazioni di "stare su una barca" o di sentirsi "ubriachi" nei pazienti. Ad esempio, il colpo di frusta, noto come whiplash, può causare disfunzioni dei recettori cervicali, alterando la propriocezione e il controllo sensomotorio e portando a sintomi come mal di testa, vertigine e dolore. Ci sono diversi riflessi che regolano i movimenti funzionali e le connessioni anatomiche menzionate precedentemente:

- Riflesso cervico-collico: controlla la muscolatura cervicale al fine di mantenere la stabilità della testa durante la deambulazione e regola i movimenti del capo, fornendo comandi per contrapporre il movimento della testa nello spazio circostante.

- Riflesso vestibolo-collico: attiva i muscoli del collo che hanno la funzione di stabilizzare la testa e mantenerla correttamente orientata nello spazio. I percorsi esatti che contribuiscono a questo riflesso devono ancora essere completamente compresi
- Riflesso oculo-cefalico: è un meccanismo di regolazione vestibolo-oculare gestito dai nuclei vestibolari, che permette di mantenere lo sguardo fisso mentre si gira la testa, producendo un movimento coordinato dei globi oculari nella direzione opposta alla rotazione della testa.
- Riflesso vestibolo-oculare: meccanismo neurologico che assicura la stabilizzazione delle immagini sulla retina durante il movimento della testa. Questo riflesso coinvolge una serie di tre neuroni che formano un circuito dall'apparato vestibolare, costituito dai dotti semicircolari, ai nuclei vestibolari e infine ai muscoli extraoculari, che controllano il movimento degli occhi. La sua funzione principale è quella di generare un movimento oculare coordinato nella direzione opposta a quella della rotazione della testa.
- Riflesso tonico del collo: gestisce i movimenti di propriocezione dell'arto inferiore utilizzando i propriocettori cervicali.
- Riflesso vestibolo-spinale: un complesso meccanismo neurale che integra input provenienti da varie fonti, tra cui la macula, la cresta ampollare, il sistema visivo e i muscoli assiali e degli arti. Questo riflesso svolge un ruolo cruciale nel mantenere la postura e l'equilibrio coordinando le risposte muscolari in tutto il corpo sotto l'influenza di segnali provenienti dal sistema vestibolare. Il riflesso vestibolospinale coinvolge anche il tronco encefalico e il cervelletto per mantenere la postura e l'equilibrio.

Questi riflessi contribuiscono al controllo e al mantenimento dell'equilibrio e della postura del corpo e dimostrano l'importanza delle connessioni anatomiche nel rachide cervicale nella regolazione del sistema sensomotorio.

## CAPITOLO TERZO

### PROBLEMATIA DELLE VERTIGINI

#### **Classificazione**

In letteratura sono riportati diversi tipi di classificazione in base al parametro che si prende come riferimento. La classificazione più completa divide le vertigini secondo la durata dell'evento acuto e secondo le cause scatenanti. Possiamo quindi classificare le vertigini come:

- vertigini periferiche
- vertigini di origine centrale
- vertigine posizionale parossistica benigna (VPPB) chiamata anche cupololitiasi,
- vertigini presincopali

Un'altra classificazione invece, si basa più sul significato semantico della parola vertigine. Infatti la traduzione della parola in italiano ha portato una generalizzazione del termine "vertigine" portando con sé poca chiarezza e difficoltà nel comprendere il disturbo descritto dal paziente. La traduzione del termine "vertigini" in inglese si differenzia in "dizziness" e "vertigo".

Il termine "dizziness" è un concetto ampio che definisce diverse sensazioni, indicate come squilibrio, stordimento, presincope, galleggiamento o una combinazione di questi. Quando si parla di "vertigo" invece ci si riferisce alla sensazione illusoria di movimento del proprio corpo.

Ulteriore classificazione da sottolineare, dopo la distinzione dei due termini anglosassoni, riguarda la relazione paziente-spazio circostante. Possiamo definire due tipi di vertigine, soggettiva e oggettiva. Nella vertigine soggettiva, il paziente avverte una sensazione di rotazione del proprio corpo rispetto all'ambiente circostante, che in genere è associata a problemi neurologici di origine centrale come l'Emicrania Vestibolare, la Dissezione Arteriosa Cervicale (CAD), la Commozione Cerebrale e l'Insufficienza Vertebro-Basilare. Rientra in questa definizione di vertigine la problematica definita in precedenza "dizziness".

Nella vertigine oggettiva, il paziente percepisce una rotazione dell'ambiente circostante rispetto a sé stesso, che di solito è causata da disturbi a livello del sistema vestibolare, come Disturbi Otolitici, Neurite Vestibolare, Neuromi Acustici, Vertigine Parossistica Vestibolare Benigna (BPPV), Neuronite Vestibolare e Sindrome di Ménière.

## **Epidemiologia**

Nell'ultimo decennio, studi epidemiologici hanno integrato diverse pubblicazioni provenienti da ambienti specialistici e hanno evidenziato come nella popolazione ci sia un elevato carico di diagnosi di vertigini. Negli studi presi in considerazione viene fatta inoltre una distinzione della diversa origine delle vertigini. Finora gli studi epidemiologici non hanno fornito, però, una chiara comprensione della frequenza con cui si verificano le vertigini di origine centrale.

Capogiri e vertigini colpiscono il 20-30% della popolazione generale. Nonostante i capogiri e le vertigini si verificano in pazienti di tutte le fasce d'età, sono disturbi primari poco comuni nei bambini. Tuttavia, in pazienti di età superiore a 60 anni, si è riscontrato che circa il 20% ha sperimentato vertigini così intense da interferire con la loro vita quotidiana.

Si stima che ogni anno negli Stati Uniti circa 7,5 milioni di pazienti affetti da vertigini siano sottoposti a visite ambulatoriali, rendendolo uno dei disturbi più comuni che porta le persone a cercare assistenza in pronto soccorso. In Europa, nello specifico in Italia, l'incidenza si avvicina al 3.5%. La vertigine vestibolare costituisce circa il 25% delle segnalazioni di vertigini, con una frequenza di circa il 5% nell'arco di un anno e un tasso di nuovi casi dell'1,4% all'anno. La sua incidenza tende ad aumentare con l'età e presenta un rapporto di 2:1 o addirittura 3:1 nelle donne rispetto agli uomini.

Come vedremo successivamente le cause di vertigini centrali e periferiche sono svariate. Diversi autori nel corso degli ultimi decenni hanno provato a dare una stima delle cause più comuni e frequenti nella popolazione. (4)

La tabella 1 (5) evidenzia uno studio di Kanashiro et al che ha documentato le sindromi più frequenti tra 515 adulti affetti da vertigini: vertigine parossistica posizionale benigna (28,5%); vertigine posturale fobica (11,5%); vertigine di origine centrale (10,1%); neurite vestibolare (9,7%); malattia di Meniere (8,5%); emicrania (6,4%).

Kroenke et al, hanno inoltre riportato i loro risultati, dove le vertigini sono state attribuite principalmente a vestibolopatia periferica, 44% dei casi, a vestibolopatia centrale nell'11% dei casi, a cause psichiatriche nel 16%, altre condizioni nel 26% e a cause sconosciute nel 13% dei pazienti nel loro studio. In base a ciò, sembra che gli studi epidemiologici suggeriscano che le cause di origine centrale siano responsabili di circa il 25% delle vertigini sperimentate dai pazienti.

Finora, gli studi epidemiologici non hanno fornito una chiara descrizione della frequenza con cui si verificano diverse cause di vertigine di origine centrale.



**TABLE 1.** Frequency of Various Causes of Dizziness in Different Countries (%)

	<b>Japan (Sekine 2005)</b>	<b>Brazil (Kanashiro 2005)</b>	<b>USA (Kroenke 2000)</b>
BPPV	32	28.5	—
Meniere disease	12	8.5	—
(Other) peripheral vestibular	21	9.7	44
Central vestibular	7	10.1	11
Psychiatric	—	11.5	16
Migraine	—	6.4	—
Unknown	—	—	13
Other	—	—	26

BPPV indicates benign paroxysmal positional vertigo.

## Eziopatogenesi

Le cause delle vertigini sono svariate, anche perché, come descritto in precedenza, ci sono diversi sistemi di controllo motorio, centrali e periferici. Solitamente, l'etiologia predominante delle vertigini è di origine otologica, poiché l'orecchio rappresenta un componente essenziale del sistema dell'equilibrio.

Tra le cause di origine centrale possiamo nominare diversi disturbi che poi comportano l'insorgere di vertigini: disturbi cerebrovascolari, emicrania, sclerosi multipla, vertigine/nistagmo posizionale centrale, epilessia, disturbi della giunzione craniocervicale, neoplastico (primario, metastatico o paraneoplastico), atassie ereditarie, psicofisiologico, ipoperfusione cerebrale globale e ipometabolismo, patologie neurodegenerative come ad esempio il parkinsonismo e vertigini post-traumatiche. Alcune di queste cause sono riconducibili anche a cause di origine periferica. (5)

### Disturbi cerebrovascolari

L'irrorazione sanguigna all'orecchio interno, al tronco encefalico e al cervelletto è fornita dal sistema vertebrobasilare. Le vertigini possono derivare da un'occlusione di questo sistema, che include le arterie vertebrali, l'arteria basilare, l'arteria cerebellare postero-inferiore, l'arteria cerebellare antero-inferiore e l'arteria cerebellare superiore. Poiché la perfusione dell'orecchio interno è in gran parte mediata dall'arteria cerebellare inferiore anteriore del sistema vertebrobasilare, le vertigini di origine cerebrovascolare possono presentarsi sia come disturbi periferici che centrali. Gli attacchi ischemici transitori vertebrobasilari che coinvolgono il cervelletto o il tronco encefalico si caratterizzano per episodi intermittenti di vertigine o disequilibrio, spesso con una durata compresa tra 1 e 15 minuti. Questi episodi sono associati a sintomi aggiuntivi come diplopia, disartria, atassia,

episodi di caduta e difficoltà nell'uso degli arti. Gli attacchi ischemici transitori vertebrobasilari che si manifestano esclusivamente come vertigini solitamente derivano da occlusioni vascolari nel tratto distale delle arterie vertebrali, tra l'arteria cerebellare postero-inferiore e l'arteria cerebellare antero-inferiore, o possono essere correlati alla sindrome da furto della succlavia.

In circostanze rare, un infarto che coinvolge il territorio dell'arteria cerebrale media può manifestarsi con sintomi come inclinazioni contrarie, lateropulsione del corpo, nausea, instabilità nella deambulazione e, ancor più raramente, vertigini rotazionali.

In conclusione, le sindromi vascolari più comuni correlate alle vertigini o anche al disequilibrio possono riassumersi in attacchi ischemici transitori vertebrobasilari (i più comuni), sindrome dell'arteria cerebellare postero-inferiore, superiore o anteriore-inferiore, infarto insulare ed infine emorragia cerebrale del tronco encefalico che può dare luogo a vertigini improvvise.

### Emicrania

Circa nel 25% dei pazienti affetti da emicrania si sono verificati attacchi di vertigine. Sembra un numero poco considerevole, ma diventa di notevole importanza quando si parla dell'epidemiologia dell'emicrania. Si stima infatti che una percentuale compresa tra il 18% e il 29% nelle donne, tra il 6% e il 20% negli uomini e del 4% nei bambini, sia colpito da emicrania.

L'emicrania e le vertigini rappresentano due caratteristiche cliniche che frequentemente si verificano simultaneamente. L'emicrania può manifestarsi con una vasta gamma di sintomi vestibolari, tra cui episodi di vertigini, sensibilità al movimento cronica e vertigini aspecifiche. Inoltre, è importante notare che i pazienti affetti da emicrania presentano una maggiore incidenza di vertigini parossistiche posizionali benigne, malattia di Meniere e chinetosi rispetto ai pazienti che non ne soffrono. Si ipotizza che le vertigini associate all'emicrania possano avere come cause possibili disturbi quali la diffusa depressione, variazioni regionali nella perfusione cerebrale, il rilascio di neurotrasmettitori e la disfunzione parossistica dei canali ionici lungo tutte le strutture vestibolari periferiche e centrali.

In letteratura vengono descritte tre principali sindromi vestibolari correlate all'emicrania.

Emicrania di tipo basilare, classificata come sottotipo dell'emicrania con aura, si caratterizza per l'insorgenza di cefalee ricorrenti, spesso localizzate nella regione occipitale, accompagnate da sintomi dell'aura localizzati nell'area vascolare dell'arteria basilare. L'aura di solito ha una durata inferiore a 1 ora e solitamente è seguita da un episodio di cefalea, spesso localizzata nell'area occipitale. I sintomi dell'aura possono includere manifestazioni visive, vertigini, acufeni, diminuzione dell'udito, diplopia, atassia, disartria, parestesie bilaterali, paresi e compromissione delle funzioni cognitive.

La vertigine parossistica benigna dell'infanzia, inclusa come sottotipo nelle sindromi periodiche infantili associate all'emicrania, si presenta tipicamente con un esordio compreso tra il primo e il quarto anno di vita. Questa condizione è caratterizzata da attacchi improvvisi e casuali di vertigine e squilibrio, spesso accompagnati da nausea e vomito, con una durata variabile che va dai 30 secondi ai 20 minuti. È importante notare che questi episodi generalmente non sono associati al mal di testa e che i bambini colpiti sono in buona salute tra un attacco e l'altro. In molti casi, questa sindrome tende a regredire spontaneamente durante l'adolescenza o può evolversi in una forma di emicrania.

La vertigine emicranica è un disturbo vestibolare causato dall'emicrania, caratterizzato da episodi di vertigini che possono insorgere in modo spontaneo, con una durata variabile che va da pochi secondi a diversi giorni. Durante questi episodi, si manifestano anche sintomi tipicamente associati all'emicrania. È importante notare che, nonostante le vertigini emicraniche siano la causa più comune di vertigini ricorrenti spontanee, attualmente non sono incluse nella classificazione ufficiale dell'emicrania stabilita dall'International Headache Society. Questi episodi vertiginosi possono verificarsi in concomitanza con la cefalea, sebbene più spesso si presentino come un sintomo indipendente. Le vertigini legate all'emicrania sono caratterizzate da diverse percezioni illusorie di movimento e sensazioni di instabilità, spesso accompagnate da sensazioni di nausea. I sintomi vestibolari associati all'emicrania possono essere descritti come rotazioni lente o rapide, oscillazioni, inclinazioni, sensazioni di dondolio, nuotare nell'aria, oscillazioni avanti e indietro o la sensazione di galleggiare.

### Sclerosi multipla

Le vertigini costituiscono il sintomo iniziale in circa il 5% dei pazienti affetti da sclerosi multipla e si manifestano nel corso della malattia in circa il 50% dei casi. I sintomi vestibolari associati alla sclerosi multipla possono avere una durata variabile, persistendo per giorni o settimane, e possono presentarsi in modo parossistico o posizionale.

Gli episodi prolungati di vertigini spontanee si verificano quando una placca demielinizzata si trova nella zona di ingresso della radice del nervo vestibolare o il nucleo vestibolare. Questi sintomi possono apparire simili a una vestibolopatia periferica acuta, come la neurite vestibolare.

Durante tali episodi, le vertigini possono durare da ore a giorni e spesso sono accompagnate da squilibrio, nausea, nistagmo torsionale-orizzontale con una direzione costante e una fase rapida che si muove verso il lato non interessato.

In alcuni casi, la perdita improvvisa dell'udito può verificarsi contemporaneamente alle vertigini qualora fosse coinvolto il nervo uditivo.

D'altra parte, se le placche demielinizzanti colpiscono le strutture vestibolari centrali, come i nuclei vestibolari, i peduncoli cerebellari o il cervelletto, possono manifestarsi vertigini, atassia grave, altre anomalie dei nervi cranici, nistagmo con variazioni nella direzione, nistagmo verticale puro, nistagmo intenzionale, tremore o disfunzione del tratto piramidale.

#### Vertigine/nistagmo posizionale centrale

La vertigine posizionale è il risultato di un'attivazione temporanea del sistema vestibolare causata da cambiamenti di posizione. Questo fenomeno è stato collegato a lesioni nei canali semicircolari e alle loro connessioni con i nuclei vestibolari e il cervelletto. Alcuni fattori, sia di natura strutturale che metabolica, possono influenzare il peso specifico della cupola e scatenare vertigini posizionali in specifiche posizioni della testa.

La variante più comune è la vertigine posizionale parossistica benigna, che generalmente è benigna e trattabile, anche se in rari casi può essere sintomo di disturbi del sistema nervoso centrale.

Uno studio di Bertholon et al. ha rilevato che l'80% dei pazienti con vertigine posizionale ha la forma parossistica benigna, mentre il 12% ha la variante con nistagmo posizionale centrale. Nei pazienti con vertigine posizionale parossistica benigna, si verificano brevi episodi di vertigine in concomitanza con i movimenti, come quando si cambia posizione nel letto o si si alza al mattino.

La vertigine/nistagmo posizionale centrale, al contrario, può derivare da lesioni del sistema nervoso centrale localizzate in varie regioni, come il quarto ventricolo, il verme dorsale o i nuclei vestibolari. Una possibile spiegazione per questa condizione è uno squilibrio nel tono vestibolare dovuto alla disinibizione dei riflessi vestibolari. Le cause più comuni di vertigine/nistagmo posizionale centrale includono disturbi cerebrovascolari, atrofia spinocerebellare, sclerosi multipla, malformazioni di Arnold-Chiari di tipo 1, tumori del tronco cerebrale e del cervelletto, oltre all'uso di alcuni farmaci.

La distinzione tra vertigine posizionale parossistica benigna e vertigine/nistagmo posizionale centrale può essere complessa e si basa sulle caratteristiche come la latenza, la durata e l'affaticabilità del nistagmo durante gli episodi, la presenza di vertigini o vomito e il periodo in cui si verifica il nistagmo. Tuttavia, il nistagmo posizionale verticale puro che non scompare con ripetuti cambi di posizione è tipico della vertigine/nistagmo posizionale centrale. Inoltre, possono essere presenti altri segni neurologici associati al tronco cerebrale e al cervelletto.

Attraverso l'imaging d

i una risonanza magnetica è possibile individuare le eventuali lesioni nella fossa posteriore, le quali causano vertigine/nistagmo posizionale centrale.

### Disturbi della giunzione craniocervicale

I disturbi della giunzione craniocervicale sono associati a una serie di sintomi, tra cui vertigini spontanee e posizionali, tinnito, perdita dell'udito, disartria, disfonia, atassia, collo corto, linea dei capelli nella parte inferiore del collo, range limitato di movimento del collo e segni dei nervi cranici inferiori. Questi sintomi tendono a peggiorare quando il collo viene esteso o durante la tosse. Ecco alcune delle principali anomalie associate alle vertigini e/o capogiri in questo contesto:

- Fusione congenita dell'atlante e del forame magno: Questa è la più comune anomalia a livello della giunzione craniocervicale. Si caratterizza per un restringimento del canale dietro il processo odontoideo a meno di 19 mm, con segni di compressione del midollo spinale cervicale superiore.
- Lussazione atlantoassiale: Questa condizione indica un'instabilità di C1 (atlante) su C2 (asse) di oltre 3 mm dall'arco C1 e dal processo odontoideo. Può essere congenita, ma è spesso associata all'artrite reumatoide e alla sindrome di Down.
- Platibasia e invaginazione basilare: la platibasia si verifica quando la base del cranio si appiattisce e l'angolo formato dall'intersezione del piano del clivus supera i 135 gradi mentre l'invaginazione basilare è un rigonfiamento verso l'alto dei condili occipitali. Queste anomalie portano a un collo più corto e a una combinazione di segni cerebellari e spinali, spesso associati a idrocefalo a pressione normale.
- Malformazione di Chiari di tipo 1: Questa condizione è definita da un'ernia tonsillare cerebellare di più di 5 mm al di sotto del forame magno, che può essere facilmente visualizzata tramite risonanza magnetica sagittale pesata in T1. I pazienti possono manifestare vertigini costanti o progressive, instabilità nell'andatura che peggiora con l'estensione del collo, oltre a sintomi come acufeni, perdita dell'udito e segni dei nervi cranici inferiori. Il nistagmo in battere può comparire spontaneamente o essere indotto con la testa abbassata, e il nistagmo vestibolare spontaneo può derivare dalla compressione delle strutture vestibolari midollari. La gravità dei sintomi di questa malformazione può aumentare nel tempo a causa dell'invecchiamento, dei traumi e degli effetti degenerativi sulla giunzione.

### Tumori dell'angolo cerebellopontino e della fossa posteriore

Il neuroma acustico è un tumore benigno che origina dalle cellule di Schwann del nervo vestibolare nel canale uditivo interno (per questo è chiamato anche "schwannoma vestibolare") ed è la

problematica oncologica più frequente dell'angolo cerebellopontino; a livello epidemiologico rappresenta una percentuale variabile dal 5% al 10% di tutti i tumori intracranici.

Lo schwannoma vestibolare è un tumore che cresce lentamente nel canale uditivo interno e nell'angolo pontocerebellare, spostando le strutture cerebrali adiacenti come il cervelletto, il ponte e i nervi cranici V e VII. Questo tumore è spesso associato a sintomi come la perdita progressiva dell'udito in un solo orecchio, acufene, e atassia. In alcuni casi, i pazienti possono sperimentare episodi di vere vertigini.

Tipico di questa problematica è il nistagmo di Bruns, una combinazione di nistagmo vestibolare periferico, caratterizzato da movimenti lenti e di grande ampiezza quando si guarda verso il lato della lesione, e nistagmo paretico dello sguardo, che presenta movimenti oculari rapidi e di piccola ampiezza. Altri sintomi meno comuni includono intorpidimento e debolezza facciale, perdita del gusto, otalgia, nevralgia del trigemino e segni di aumento della pressione intracranica. Va notato che questi sintomi possono manifestarsi anche con altri tipi di tumori dell'angolo cerebellopontino, come meningiomi, neuromi del trigemino, colesteatomi, cisti epidermoidi e tumori metastatici.

I meningiomi dell'angolo pontocerebellare possono causare sintomi simili, tra cui perdita dell'udito, dolore o intorpidimento facciale, vertigini e atassia. Questi tumori costituiscono il secondo tipo di tumore più comune nella fossa posteriore, subito dopo gli schwannomi vestibolari. Di solito, la risonanza magnetica può distinguere un meningioma da uno schwannoma vestibolare poiché quest'ultimo ha origine nel canale uditivo interno.

### Malattia di Ménière

La malattia di Ménière è caratterizzata da cambiamenti nella pressione e nel volume dell'endolinfa nel labirinto dell'orecchio interno, che influenzano la sua funzione. Attualmente, la causa precisa dell'accumulo di endolinfa è ancora sconosciuta e oggetto di ricerca. I pazienti affetti dalla malattia di Ménière sperimentano improvvisi attacchi di vertigine che solitamente durano da 20 minuti a 12 ore, anche se in casi rari possono protrarsi fino a 24 ore. Durante questi episodi, è comune avvertire nausea e vomito. Altri sintomi che possono accompagnare gli attacchi includono sudorazione e diarrea, oltre a una sensazione generale di instabilità nella deambulazione. La malattia di Ménière è caratterizzata da questi sintomi ricorrenti, che possono avere un impatto significativo sulla qualità di vita dei pazienti.

### Vertigini psichiatriche

Le vertigini psichiatriche rappresentano un complesso di disturbi in cui i sintomi vertiginosi sono influenzati o scatenati da fattori psicologici. Le due forme principali di vertigini psichiatriche vengono descritte di seguito:

Vertigini psicogene che sono spesso associate a disturbi come il disturbo di panico con agorafobia, l'ansia generalizzata, disturbi di personalità e depressione. I pazienti con vertigini psicogene reagiscono a specifici stimoli o situazioni sociali con una chiara disconnessione tra la loro sensazione di disequilibrio soggettivo e la mancanza di prove oggettive di vertigine. Sperimentano ansia o paura eccessivamente intense in situazioni apparentemente inoffensive e non mostrano nistagmo spontaneo (movimenti oculari involontari) associato alle vertigini. È importante notare che i disturbi vestibolari primari possono anche causare sintomi psichiatrici secondari.

Vertigine posturale fobica, una forma comune di vertigine caratterizzata da vertigini non rotatorie e disturbi soggettivi nella postura eretta e nell'andatura, nonostante i test clinici di equilibrio mostrino risultati normali. I pazienti con vertigine posturale fobica spesso riportano un aumento dell'instabilità quando osservano scene visive in movimento e possono sperimentare ansia e attacchi di panico. Questa condizione è strettamente legata a specifici stimoli sensoriali o situazioni sociali, e i pazienti possono sviluppare rapidamente comportamenti di evitamento. La vertigine posturale fobica è tipicamente preceduta da periodi di stress psicosociale significativo. La terapia comportamentale e l'attività fisica regolare sono solitamente efficaci nel trattamento di questa condizione, ma se non trattata, può diventare cronica e influire negativamente sulla qualità della vita, inclusa la capacità di svolgere attività lavorative.

### Vertigini presincopali

Questa condizione è caratterizzata dalla sensazione di stordimento che si verifica poco prima di svenire o perdere conoscenza. La riduzione del flusso sanguigno al cervello è il meccanismo principale dietro la presincope.

Questo disturbo è accompagnato da una serie di segni e sintomi che precedono il verificarsi della sincope stessa, come debolezza generale, vertigini, mal di testa, visione offuscata, sudorazione eccessiva, parestesia (sensazioni anomale sulla pelle), pallore, nausea e vomito. Questi sintomi presincopali solitamente persistono per alcuni secondi o minuti prima che la persona perda conoscenza.

La presincope può essere innescata spontaneamente, essere legata a una posizione specifica o essere scatenata da fattori specifici, a seconda delle cause sottostanti che solitamente vengono classificate in diverse categorie, tra cui cause cardiovascolari (come malattie cardiache strutturali, malattie coronariche e aritmie), cause neurologiche (come l'ipotensione ortostatica e la sindrome da tachicardia ortostatica posturale), cause neurocardiogene o vaso-vagali (solitamente scatenate da situazioni stressanti o dolorose), cause metaboliche (come l'ipovolemia e l'ipoglicemia) e cause psichiatriche (come l'iperventilazione in individui ansiosi). (5)

## **Quadro clinico**

### Segni e sintomi

Nel provare a descrivere il quadro clinico di questa patologia, ho trovato la necessità di differenziare i segni e i sintomi percepiti dal paziente secondo la causa di origine delle vertigini. Distinguendo le strutture colpite si possono evidenziare diversi dettagli tra le vertigini di origine centrale e quelle di origine periferica. (4)

La vertigine centrale è un sintomo che richiede una valutazione medica attenta, poiché può essere associata a condizioni più gravi. Viene spesso associata a uno squilibrio molto più pronunciato rispetto alla vertigine periferica. I pazienti possono avere difficoltà significative a mantenere l'equilibrio e possono cadere più facilmente. A differenza della vertigine periferica, che è spesso isolata, questa può essere accompagnata da segni neurologici aggiuntivi. Questi possono includere intorpidimento facciale omolaterale, debolezza degli arti e atassia. L'illusione motoria, cioè la sensazione di movimento o rotazione, potrebbe non essere altrettanto evidente o predominante come nella vertigine periferica. Questo perché il disturbo è spesso più legato a problemi neurologici centrali che influenzano la percezione dell'equilibrio.

Nel caso delle vertigini centrali, anche il tipo di nistagmo osservato avrà le caratteristiche di un disturbo centrale, questo significa che il movimento involontario degli occhi è principalmente verticale o torsionale, può essere multidirezionale e non viene soppresso quando il paziente fissa un punto visivo.

Tra le cause comuni di vertigine centrale troviamo le lesioni all'angolo cerebello-pontino che possono causare molti dei sintomi sopra menzionati. Questo può includere intorpidimento facciale omolaterale, debolezza degli arti e atassia. Queste lesioni possono essere causate da una varietà di condizioni, tra cui tumori cerebrali, sclerosi multipla, ictus o altre patologie neurologiche.



Nelle vertigini periferiche prevale il senso di nausea e la conseguente sensazione di vomito che in alcuni casi può diventare un pericolo, come nel caso dell'ingestione del vomito. Dato che le cause periferiche delle vertigini sono riconducibili, nella maggior parte dei casi, a una problematica dell'orecchio interno, dei disturbi comuni che si riscontrano in queste problematiche sono la perdita dell'udito, acufene e senso di dolore all'orecchio.

Il nistagmo può manifestarsi in vari modi, ma il più comune è il nistagmo orizzontale, dove gli occhi si spostano in senso orizzontale. Il nistagmo nelle vertigini periferiche è spesso causato da una discrepanza tra i segnali inviati dal sistema vestibolare (nell'orecchio interno) e quelli provenienti dal sistema visivo. Questa discrepanza può innescare il nistagmo come un tentativo del cervello di stabilizzare l'immagine visiva in presenza di un'illusione di movimento. Inoltre è spesso legato a episodi acuti di vertigine ed è temporaneo, scomparendo quando la causa sottostante si risolve o si attenua. Infine, è importante notare che questo tipo di nistagmo può essere unilaterale, ovvero più evidente in uno degli occhi e coinvolgere solo un lato, fornendo importanti indizi diagnostici nella valutazione delle vertigini.

In sintesi, di seguito, elencherò i segni e i sintomi più comuni associati alle vertigini, tenendo in considerazione che questi possono variare in intensità e durata a seconda dell'origine, centrale o periferica:

- Sensazione di movimento o rotazione dell'ambiente circostante (vertigine soggettiva).
- Sensazione di instabilità o disequilibrio.
- Nausea e vomito, specialmente nelle vertigini più gravi.
- Nistagmo, un movimento involontario degli occhi.
- Sudorazione e pallore.
- Disturbi dell'udito, come perdita uditiva, acufeni o sensazione di "orecchio tappato".
- Mal di testa.
- Problemi di concentrazione e difficoltà nella coordinazione motoria.
- Cambiamenti nella pressione sanguigna e nella frequenza cardiaca.
- Ansia o paura, soprattutto durante gli episodi di vertigine.

### Diagnosi

Nell'anamnesi, è fondamentale indagare sulle sensazioni percepite dal paziente durante l'episodio di vertigine. Domande aperte sono preferibili ed è importante raccogliere informazioni sulla gravità e le caratteristiche degli episodi, se sono continui o sporadici, la frequenza e la durata, e se sono scatenati

da cambiamenti di posizione della testa o del corpo. Inoltre, è importante valutare la presenza di sintomi uditivi associati, come perdita dell'udito, sensazione di pienezza all'orecchio e acufeni. Va considerato anche l'impatto degli episodi sulla vita quotidiana del paziente, inclusi eventuali incidenti o giorni lavorativi persi.

È inoltre molto importante esaminare la correlazione degli episodi di vertigine con movimenti del capo, cambiamenti di posizione, situazioni stressanti o ciclo mestruale. Sintomi aggiuntivi rilevanti includono cefalea, nausea e vomito, riduzione della vista, ipostenia focale e difficoltà nella deambulazione.

L'anamnesi dovrebbe anche considerare la presenza di fattori di rischio e patologie pregresse, come traumi cranici recenti, emicrania, diabete, malattie cardiache, malattie polmonari, abuso di sostanze e alcol, oltre a variazioni recenti nei farmaci assunti. (6)

Si passa successivamente all'esame obiettivo, durante il quale è necessario valutare i parametri vitali del paziente, verificando la presenza di febbre, polso irregolare e valutando la pressione arteriosa in diverse posizioni, compresa la posizione eretta per individuare l'ipotensione ortostatica. Se la posizione eretta provoca sintomi, è importante distinguere tra vertigini posturali e vertigini legate al movimento della testa.

L'esame dovrebbe includere una valutazione delle orecchie, inclusa l'osservazione del canale uditivo alla ricerca di secrezioni o corpi estranei e la valutazione della membrana timpanica per segni di infezione o perforazione. La funzione cerebellare può essere valutata tramite test di andatura, test del dito-naso e il test di Fukuda della marcia, che può essere eseguito da specialisti per individuare lesioni vestibolari monolaterali. Inoltre, è importante eseguire un esame neurologico completo, compresa la valutazione degli altri nervi cranici.

### Diagnosi differenziale

La diagnosi differenziale tradizionale si basa sulla natura esatta del disturbo principale (distinguendo tra disequilibrio, sensazione di testa vuota e vertigini). Tuttavia, dati i sintomi spesso non specifici e l'incostanza delle descrizioni dei pazienti, questo approccio può risultare inaffidabile. È più utile concentrarsi sull'esordio e l'andamento temporale dei sintomi, i fattori scatenanti e i sintomi e reperti associati, in particolare quelli otologici e neurologici.

Nella diagnosi delle vertigini, è fondamentale distinguere tra vertigine soggettiva e oggettiva, in quanto ciò può fornire indicazioni preziose sulla causa sottostante.

La problematica definita come vertigine soggettiva presenta un paziente che avverte di essere lui stesso a girare rispetto all'ambiente circostante. Questo tipo di vertigine è spesso associato a problemi

neurologici di origine centrale, come l'emicrania vestibolare, la dissezione arteriosa cervicale (CAD), la commozione cerebrale e l'insufficienza vertebro-basilare.

Nel caso della vertigine oggettiva invece, il paziente percepisce che l'ambiente circostante sta ruotando rispetto a lui. Questo tipo di vertigine è generalmente causato da disturbi a livello del sistema vestibolare, come disturbi otolitici, neurite vestibolare, neuromi acustici, vertigine parossistica vestibolare benigna (BPPV), neuronite vestibolare e sindrome di Ménière.

Bisogna poi considerare la diagnosi differenziale tra vertigine cervicogenica, vertigine vestibolare periferica e vertigine neurologica centrale ed è importante prendere in considerazione diversi aspetti:

- Tipo di vertigine: la vertigine cervicogenica di solito si verifica con il movimento del collo, mentre la vertigine vestibolare periferica può essere desensibilizzata con movimenti ripetuti del collo. La vertigine neurologica centrale può essere innescata dal mantenimento della posizione del collo.
- Caratteristiche del nistagmo: nella vertigine cervicogenica è breve, senza latenza significativa ed è solitamente riducibile con movimenti ripetuti del collo. Nella vertigine vestibolare periferica, il nistagmo ha una breve latenza (1-5 secondi) e una lunga durata (più di 30 secondi). Nella vertigine neurologica centrale, il nistagmo ha una lunga latenza (40-70 secondi).
- Segni e sintomi associati: la vertigine cervicogenica può essere associata a sintomi come dolore nella parte superiore del collo, mal di testa e limitata mobilità cervicale. La vertigine vestibolare periferica ha come sintomo principale il nistagmo. La vertigine neurologica centrale può essere associata a sintomi come diplopia (visione doppia), sincope, atassia (mancanza di coordinazione dei movimenti), disfagia (difficoltà nella deglutizione) e disartria (difficoltà nella pronuncia delle parole).

### Red flags

Nell'anamnesi delle vertigini, ci sono alcune "*red flags*" o segnali di allarme che possono indicare la necessità di una valutazione e un trattamento immediato da parte di un professionista medico:

- Dolore severo o improvviso associato alle vertigini.
- Perdita di coscienza o svenimento in concomitanza con le vertigini.

- Debolezza muscolare improvvisa, difficoltà nella parola o altri sintomi neurologici focali.
- Vertigini che si verificano dopo un trauma cranico recente.
- Vertigini persistenti o gravi che interferiscono significativamente con le attività quotidiane del paziente.
- Vertigini associate a disturbi dell'udito, come perdita dell'udito improvvisa o acufeni gravi.
- Vertigini in persone con una storia di cancro.
- Vertigini in persone con fattori di rischio per malattie cardiovascolari, come ipertensione, diabete o fibrillazione atriale.

### **Test clinici**

L'utilizzo dell'esame HINTS (Head Impulse, Nystagmus, Test of Skew) può essere utile per differenziare le cause centrali da quelle periferiche della sindrome vestibolare acuta.

L'esame HINTS, rappresenta uno dei test diagnostici più sensibili (con una sensibilità del 100%) e specifici (con una specificità del 96%) per la valutazione delle vertigini.

L'esame HINTS si compone di tre diversi test:

1. Head Impulse (Riflesso Vestibolo-Oculare): Questo test valuta il riflesso vestibolo-oculare (VOR), il quale ha la funzione di stabilizzare l'immagine sulla retina durante i movimenti rotatori della testa. Il VOR è essenziale per mantenere la posizione correttiva dell'occhio durante qualsiasi cambiamento nella posizione della testa e per correggere rapidamente i movimenti degli occhi in modo che la vista rimanga centrata sul bersaglio.
2. Osservazione del Nistagmo: l'analisi del nistagmo può fornire importanti indizi sulla causa delle vertigini come abbiamo discusso in precedenza.
3. Screw Deviation (Deviazione Obliqua): valuta la presenza di una deviazione obliqua degli occhi, insolita, in cui gli occhi si muovono uno verso l'altro o in direzioni opposte che può essere un segno di disturbo centrale. La deviazione dell'inclinazione è il risultato di un input anomalo ai nuclei motori oculari di origine vestibolare pre-nucleare. Questa condizione è più comunemente associata a patologie come l'ictus cerebrale o cerebellare. Tuttavia, altre cause che possono provocare la deviazione dell'inclinazione comprendono la sclerosi multipla e il trauma cranico. Questo segno è osservabile con un altro test clinico il cover test.

La valutazione accurata di questo sintomo è essenziale per la diagnosi e il trattamento appropriato del paziente.

L'esame HINTS è particolarmente utile nella distinzione tra vertigini di origine vestibolare (periferiche) e vertigini di origine centrale. La sua elevata sensibilità e specificità lo rendono uno strumento prezioso nella pratica fisioterapica per una valutazione accurata e una diagnosi differenziale delle vertigini.

Una valida alternativa al HINTS viene fornita dal body on head rotation test (oppure dalla versione del test eseguita con il paziente seduto, cervical torsion test). Grazie a questi è possibile differenziare la causa e l'origine delle vertigini. (4)

Il test è composto da tre fasi:

- Fase 1: in questa fase, il terapeuta posiziona le mani sui lati della testa del paziente e lo guida nel compiere rotazioni complete del corpo da un lato all'altro. Se questa manovra provoca vertigini o sensazioni di sbandamento, il paziente dovrebbe essere indirizzato a consultare uno specialista.
- Fase 2: se la fase 1 risulta negativa, quindi non evoca i sintomi di vertigine o sbandamento, il terapeuta prosegue con la Fase 2. Qui, il paziente esegue rotazioni del capo complete alternate, 10 volte a destra e 10 volte a sinistra. Se anche in questa fase si verificano vertigini o sensazioni di sbandamento, è probabile che i sintomi abbiano un'origine cervicogenica, escludendo le cause vestibolari.
- Fase 3: se la fase 2 non evidenzia sintomi di vertigine, ma i test di mobilità effettuati in posizione supina causano vertigini o sbandamenti, potrebbe essere coinvolto il sistema vestibolare. In questo caso, è consigliato consultare un medico per un'ulteriore valutazione.

I pazienti con un attacco improvviso in corso dovrebbero essere sottoposti a pulsossimetria, esame della glicemia digitale e, per le donne, test di gravidanza. L'ECG è spesso richiesto. Altri test dovrebbero essere selezionati in base ai reperti clinici, ma in generale, la risonanza magnetica (RM) con gadolinio è indicata per pazienti con sintomi acuti associati a cefalea, anomalie neurologiche o altri segni indicativi di un coinvolgimento del sistema nervoso centrale.

La RM con mezzo di contrasto è raccomandata per pazienti con sintomi cronici della patologia del sistema vestibolare centrale al fine di escludere lesioni come ictus o sclerosi multipla.

## **Trattamento farmacologico delle vertigini**

Il trattamento farmacologico di questa problematica tocca diverse opzioni, in base all'origine della causa scatenante le vertigini.

Come visto dalla letteratura (“Pharmacology of balance and dizziness, di Emerald Lin and Kathy Aligene”) le benzodiazepine sono da sempre le più utilizzate, soprattutto per il trattamento della malattia di Mènière; per questa condizione vengono somministrati farmaci come diazepam, lorazepam che vanno ad alleviare i sintomi acuti della vertigine.

Altra famiglia di farmaci che potrebbe essere utilizzata per i sintomi delle vertigini sono gli anticolinergici, anche se evitati spesso per le cause dei significativi effetti avversi.

Quando le origini delle vertigini sono neurologiche, come ad esempio nell'emicrania vestibolare, vengono utilizzati i FANS.

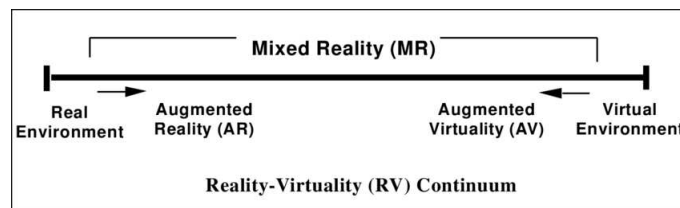
## CAPITOLO QUARTO

### REALTÀ AUMENTATA E VIRTUALE

In questo capitolo verranno introdotti i concetti generali della realtà virtuale e aumentata, le loro funzioni e le applicazioni alla vita quotidiana.

La realtà aumentata (AR) e la realtà virtuale (VR) sono due tecnologie che offrono esperienze immersive e interattive agli utenti, ma differiscono significativamente nei loro approcci e nelle loro applicazioni.

Quando si affronta la discussione su queste tecnologie, è essenziale considerare anche il concetto di "realtà mista", noto in inglese come Mixed Reality (MR). La realtà mista rappresenta un ampio spettro di tecnologie che abbracciano sia la AR che la VR. La sua caratteristica distintiva risiede nella capacità di arricchire l'ambiente del mondo reale con elementi virtuali, spesso identificati come "ologrammi" nel contesto della realtà aumentata. La posizione specifica all'interno dello spettro della realtà mista è determinata dal grado di fusione tra il mondo reale e il mondo virtuale.



Rappresentazione del *Reality-Virtuality continuum*. Figura tratta da (7)

#### **Realtà aumentata**

Nel contesto dell'esperienza di Mixed Reality (MR) all'interno del mondo reale, dove si verificano sovrapposizioni di pochi oggetti virtuali all'ambiente fisico, ci troviamo nel campo della realtà aumentata. L'aggettivo "aumentata" sottolinea l'aggiunta di elementi virtuali senza occultare ciò che esiste già, ma piuttosto arricchendolo con nuove informazioni.

Per definire la realtà aumentata, possiamo fare riferimento alla definizione proposta da Azuma nel 1997 (8), che offre una sintesi chiara delle tre caratteristiche fondamentali:

1. La realtà aumentata combina elementi virtuali, noti come "ologrammi", con l'ambiente fisico reale.
2. Gli oggetti virtuali sono posizionati in modo coeso e in sintonia con l'ambiente circostante; ad esempio, un oggetto virtuale come un quadro sarà allineato con la superficie di una parete.
3. Questa tecnologia opera in tempo reale, consentendo un'esperienza interattiva in cui gli utenti possono interagire con gli oggetti virtuali sovrapposti all'ambiente reale.

Le possibilità di questa tecnologia non si limitano esclusivamente alla visualizzazione di elementi virtuali in un contesto fisico preesistente; al contrario, l'attuale tecnologia consente anche interazioni con gli ologrammi, aprendo così la strada a numerose applicazioni pratiche in grado di potenziare e trasformare la società in cui viviamo. Gli ambiti applicativi della realtà aumentata sono estremamente vari e comprendono, tra gli altri settori, l'istruzione, la medicina, l'industria e la valorizzazione del patrimonio culturale.

Nel campo medico, la Realtà Aumentata offre un'ampia gamma di applicazioni, sia all'interno delle strutture ospedaliere durante gli interventi chirurgici, sia nel comfort della camera di un paziente in fase di riabilitazione post-operatoria. Un esempio rilevante dell'utilizzo dell'AR per facilitare il recupero da lesioni è nella riabilitazione motoria. La tecnologia AR consente ai pazienti di visualizzare chiaramente e in modo intuitivo le istruzioni relative agli esercizi o ai movimenti, migliorando notevolmente la comprensione e l'efficacia nell'esecuzione. L'assistenza sanitaria a distanza e la telemedicina, che permettono ai medici di assistere e visitare i pazienti da remoto attraverso la rete internet e l'AR, stanno diventando sempre più comuni. Questo approccio presenta vantaggi significativi, tra cui minori costi per i pazienti, che non necessitano più di recarsi fisicamente in studio medico, e un'ottimizzazione del tempo da parte del medico, che può condurre le visite in maniera più efficiente.

## **Realtà virtuale**

Al contrario, quando il mondo reale viene completamente sostituito dal mondo virtuale, ci troviamo nel contesto della realtà virtuale. In questo caso, il virtuale diventa il luogo in cui l'utente si trova, mentre la realtà fisica è oscurata dalla presenza di un dispositivo VR; si parla quindi di un vero e proprio mondo simulato. La caratteristica distintiva principale della VR è l'immersività, che si traduce nell'esperienza di essere completamente immersi nel mondo virtuale al punto da dimenticare la realtà circostante. Quando l'esperienza virtuale è così convincente da confondere i sensi dell'utente,



specialmente la vista, che è il nostro senso dominante, l'individuo può sperimentare quella sensazione conosciuta come "presenza". Questo termine si riferisce al fatto che l'utente si sente completamente coinvolto nel mondo virtuale e assume comportamenti come se fosse fisicamente presente in un ambiente virtuale identico a quello simulato dal computer.

Per riassumere in breve le caratteristiche delle due tecnologie proposte andrò a elencare le proprietà fondamentali per le quali differiscono:

- Livello di immersione: La VR offre un'immersione completa, in cui l'utente è totalmente coinvolto in un ambiente virtuale. D'altro canto, l'AR mantiene una connessione con il mondo reale, sovrapponendo elementi virtuali alla visione dell'ambiente circostante.
- Applicazioni: l'AR è spesso utilizzata per migliorare o estendere esperienze reali aggiungendo elementi digitali, come informazioni, grafici o oggetti virtuali, all'ambiente fisico. Al contrario, la VR è progettata per creare mondi virtuali indipendenti, in cui l'utente è completamente immerso.
- Dispositivi: l'AR è comunemente accessibile attraverso dispositivi come smartphone, occhiali AR o dispositivi indossabili. La VR richiede l'uso di visori VR e cuffie speciali che isolano completamente l'utente dal mondo reale.
- Interazione: nella VR, l'utente interagisce principalmente con il mondo virtuale tramite movimenti fisici e controlli digitali. Nell'AR, l'interazione può avvenire sia con gli elementi virtuali che con il mondo reale circostante, consentendo un'esperienza più integrata.

### **Interazione a livello cerebrale**

Le due tecnologie proposte in precedenza, AR e VR, influenzano l'esperienza sensoriale e percettiva del paziente in modi diversi, andando ad attivare diverse aree a livello cerebrale.

#### *Realtà Aumentata:*

- Integrazione sensoriale: in un'applicazione di AR, il cervello deve integrare le informazioni provenienti dai sensi, come la vista e l'udito, con le informazioni digitali sovrapposte all'ambiente reale. Questo coinvolge aree cerebrali responsabili dell'elaborazione sensoriale e percettiva.

Nello specifico vengono attivate aree come la Corteccia Visiva Primaria (area 17 o V1), per le informazioni visive ricevute dal nervo ottico; la Corteccia Auditiva Primaria per gli stimoli uditivi; la Corteccia Associativa, che elabora ulteriormente le informazioni sensoriali e le collega alle esperienze, memorie e significato; la corteccia Parietale e Temporale per la comprensione e per la percezione dello spazio virtuale.

- Attenzione e memoria: poichè l'AR aggiunge informazioni digitali all'ambiente reale, il cervello deve gestire l'attenzione tra i dati reali e quelli virtuali. Questo richiede l'attivazione delle aree coinvolte nell'attenzione e nella memoria a breve termine. Per l'attivazione della memoria a breve termine si attivano le aree della Corteccia Prefrontale, la Corteccia Parietale per il mantenimento delle informazioni spaziali sulla posizione degli oggetti e la Corteccia Temporale che invece elabora le informazioni riguardanti gli stimoli uditivi.

L'attenzione viene stimolata attraverso l'attivazione di altre aree cerebrali: Corteccia Parietale posteriore che stimola l'attenzione verso oggetti o luoghi specifici nell'ambiente; la Corteccia Prefrontale, per il mantenimento dell'attenzione e per sopprimere le distrazioni; il talamo che è coinvolto nel filtrare le informazioni e indirizzarle verso le aree cerebrali pertinenti.

- Interazione motoria: spesso vengono coinvolte interazioni fisiche, come toccare uno schermo o muovere il dispositivo. Queste azioni richiedono coordinazione tra l'input motorio e la percezione sensoriale e coinvolgono aree cerebrali coinvolte nel controllo motorio che vengono descritte nel primo capitolo.

#### *Realtà Virtuale:*

- Immersione sensoriale: la VR è progettata per offrire un'immersione completa in un mondo virtuale. Questo coinvolge profondamente il sistema visivo e uditivo, portando il cervello a percepire l'ambiente virtuale come reale. Ciò richiede l'attivazione delle aree cerebrali coinvolte nell'elaborazione visiva e uditiva.
- Sensazione di movimento: in un ambiente VR, il cervello deve gestire la sensazione di movimento, anche se il corpo dell'utente è stazionario. Questo coinvolge le aree coinvolte nella percezione del movimento e dell'equilibrio, quindi il cervelletto e la corteccia cerebellare, il sistema vestibolare e il midollo spinale, quest'ultimo più dedicato alla regolazione del tono muscolare e nella pianificazione dei movimenti.

- Controllo motorio e interazione: il cervello deve adattarsi alle interazioni motorie all'interno dell'ambiente virtuale, come camminare o afferrare oggetti virtuali. Ciò richiede il coinvolgimento delle aree cerebrali responsabili del controllo motorio e delle sensazioni tattili (Corteccia Somato-sensoriale Primaria e Secondaria, area 1 o S1, area 2 o S2)
- Immersione emotiva: la VR può indurre una forte immersione emotiva poiché il cervello percepisce l'ambiente virtuale come reale. Ciò coinvolge le aree cerebrali legate alle emozioni, come l'amigdala, la corteccia cingolata e prefrontale, e alla memoria a lungo termine.

In entrambi i casi, le tecnologie AR e VR possono influenzare l'attività cerebrale e l'esperienza percettiva degli utenti in modi unici. La chiave per comprendere come funzionano a livello cerebrale è il coinvolgimento di diverse aree cerebrali per elaborare informazioni sensoriali, motorie ed emotive, nonché la necessità di integrare il mondo reale con l'esperienza digitale o virtuale.

### **Effetti nella riabilitazione**

La realtà virtuale e la realtà aumentata stanno diventando sempre più utilizzate nel campo della riabilitazione fisioterapica a causa dei numerosi benefici che offrono. La seduta fisioterapica va integrata con questo tipo di tecnologie che in qualche caso possono essere utilizzate anche per tutta la durata del trattamento. Attraverso AR e VR vengono toccati diversi ambiti che rendono il coping del paziente più positivo; ad esempio possono rendere gli esercizi di riabilitazione più coinvolgenti e divertenti. La VR è particolarmente efficace nel coinvolgere i pazienti pediatrici. I giochi interattivi e i personaggi virtuali rendono la terapia più attraente per i bambini.

Altri utilizzi chiave di queste tecnologie verranno evidenziati di seguito.

L'ambito della riabilitazione motoria è sicuramente di notevole interesse. Attraverso la VR può essere fornita una simulazione di ambiente virtuale che consente al paziente di svolgere attività motorie in ambienti virtuali che simulano il mondo reale, restando però in un ambiente di sicurezza e tutela, evitando i rischi che comporterebbe altrimenti l'attività. Inoltre gli ambienti virtuali forniscono un feedback immediato sulla corretta esecuzione dei movimenti, incoraggiando il paziente a fare esercizio correttamente e in modo efficace.

## Terapia del Dolore:

Negli ultimi vent'anni, l'uso di interventi non farmacologici per il trattamento del dolore mediante la tecnologia della realtà virtuale ha visto una crescente adozione. Quando efficaci, questi interventi rappresentano un modo economico per gestire il dolore e possono essere utilizzati comodamente dai pazienti a casa propria. La terapia del dolore tramite VR è diventata popolare grazie a iniziative come SnowWorld, un gioco VR sviluppato da Hoffman e colleghi, che coinvolge il lancio di palle di neve contro personaggi animati. Questo approccio è stato efficacemente utilizzato in aggiunta all'uso di oppioidi nella gestione del dolore dei pazienti con ustioni, con risultati positivi sia nei pazienti adolescenti che negli adulti. (9) Sorprendentemente, la terapia del dolore basata sulla VR ha dimostrato di mantenere la sua efficacia anche dopo esposizioni ripetute durante il trattamento delle ustioni e ha dimostrato di essere paragonabile agli effetti analgesici degli oppioidi.

Questo è un esempio di distrazione dal dolore o “analgesia distratta”, uno dei meccanismi principali attraverso cui la realtà virtuale impatta sul dolore. Questo meccanismo si basa sull'idea di distogliere l'attenzione del paziente dai segnali dolorosi mentre è immerso in un ambiente virtuale. Questa terapia di distrazione trova la sua radice nella Teoria del Dolore della Neuromatrice di Melzack (2001), che suggerisce che vari fattori, come la cognizione, la sensazione e l'affetto, possano influenzare la percezione del dolore. È importante notare che questo meccanismo si concentra sulla percezione del dolore ed è fondamentalmente diverso rispetto a molti analgesici che agiscono sul blocco dei segnali nocicettivi verso il sistema nervoso centrale. (9)

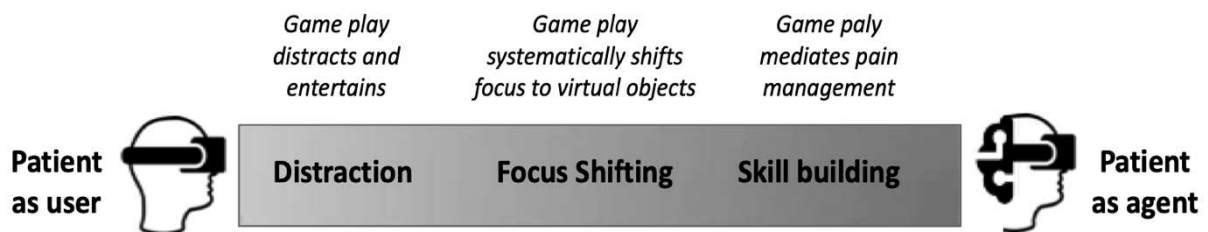


Figura presa da (9)

## Terapia Cognitiva:

La VR offre esercizi che migliorano le funzioni cognitive, come la memoria, l'attenzione e il ragionamento. Questi esercizi sono utili per pazienti con lesioni cerebrali o disturbi neurologici. Questo viene dimostrato anche in letteratura con diversi studi, uno tra i quali ha portato i seguenti risultati: un intervento di 12 settimane basato sulla realtà virtuale ha portato a benefici significativi nelle funzioni cognitive degli anziani affetti da Mild Cognitive Impairment (MCI). Inoltre, è stato

osservato che i soggetti sottoposti all'allenamento nella realtà virtuale hanno mostrato una riduzione dell'attivazione nelle aree prefrontali del cervello, suggerendo una maggiore efficienza. È interessante notare che l'allenamento fisico e cognitivo basato sulla realtà virtuale ha dimostrato di essere più efficace nel migliorare le Attività Strumentali della Vita Quotidiana (IADL) rispetto all'allenamento combinato fisico e cognitivo. Questi risultati forniscono un sostegno significativo all'impiego dell'allenamento fisico e cognitivo basato sulla realtà virtuale come approccio terapeutico per gli anziani affetti da MCI. (10)

Altro utilizzo che viene consentito da queste tecnologie è la cura del paziente a distanza. La VR e l'AR consentono la teleriabilitazione, in cui i pazienti possono ricevere trattamenti e monitoraggio da remoto. Questo è particolarmente utile per coloro che hanno difficoltà a raggiungere una clinica fisica. Inoltre permette agli atleti di simulare la situazione di allenamento o competizione per consentire di sviluppare le abilità e la resistenza richieste per le competizioni reali.

L'uso di VR e AR in fisioterapia sta rapidamente evolvendo e offre opportunità significative per migliorare l'efficacia della riabilitazione e delle terapie. Tuttavia, è essenziale che queste tecnologie siano supervisionate da professionisti della salute qualificati per garantire che siano applicate in modo sicuro e appropriato per ciascun paziente.

## CAPITOLO QUINTO

### MATERIALI E METODI

#### **Oggetto dello studio**

L'obiettivo principale di questa tesi è condurre un'analisi approfondita della letteratura scientifica relativa alle vertigini e ai disturbi vestibolari, con un focus specifico sull'efficacia delle terapie fisioterapiche che sfruttano la tecnologia della realtà aumentata e virtuale. La discussione si concentrerà sull'analisi delle evidenze scientifiche presenti in letteratura e sull'identificazione di eventuali aree di miglioramento o limitazioni riguardo a questa scelta terapeutica.

Il presente studio è una revisione sistematica della letteratura che si basa su un protocollo di riferimento: PRISMA Statement (Moher et al., 2009), scelto in virtù della sua stretta collaborazione con la Cochrane Collaboration e del suo elevato numero di citazioni (2722 su PubMed, 25200 secondo Google Scholar).

In conformità a questo protocollo, gli obiettivi di ricerca sono stati formulati seguendo il modello PICOS, che prevede la specificazione dei seguenti elementi: Partecipanti, Interventi, Confronti, Outcome e il tipo di Studio.

Per quanto riguarda i partecipanti: si è scelta una popolazione di adulti con diagnosi di problematica vestibolare e vertigine; data la proposta di studio e la novità del trattamento sono state considerate gran parte delle cause di vertigini.

Come intervento, la ricerca ampia si concentra principalmente sul trattamento fisioterapico attraverso la VR e/o AR, senza specificazioni aggiuntive. Al fine di massimizzare l'inclusività, non sono state imposte restrizioni riguardo ai confronti, con l'obiettivo di permettere all'analisi della letteratura di rivelare le pratiche più comuni. Tuttavia, è importante sottolineare che non saranno considerati gli studi in cui manca un adeguato gruppo di controllo. Ci si attende che gli interventi vengano confrontati con una serie di opzioni, tra cui un trattamento standard, un diverso tipo di trattamento (come quelli farmacologici). Nello stesso spirito, è stata fatta la scelta di non porre limiti sugli outcome, che presumibilmente misureranno una o più delle seguenti dimensioni: riduzione delle vertigini (durata e frequenza), miglioramento dell'equilibrio e della stabilità, qualità di vita, autonomia e sicurezza, riduzione della sensazione di nausea e vomito, riduzione dell'ansia e della depressione dovute alla problematica vestibolare o centrale. Gli studi presi in considerazione sono principalmente revisioni sistematiche e RCT pubblicati successivamente alle revisioni più recenti.

<b>Partecipanti</b>	Adulti con diagnosi di vertigine centrale o periferica
<b>Intervento</b>	Trattamento fisioterapico attraverso AR e VR
<b>Confronti</b>	Trattamento standard, altri trattamenti
<b>Outcome</b>	Vertigini (durata, frequenza), equilibrio e stabilità, qualità di vita, autonomia e sicurezza, nausea e vomito, ansia e depressione correlate.
<b>Tipo di studio</b>	revisioni sistematiche, studi randomizzati controllati, metanalisi di ret

*Schema PICOS degli obiettivi di ricerca*

### **Criteri di eleggibilità**

Per rafforzare e dettagliare ulteriormente i criteri di selezione, sono stati integrati i seguenti parametri. Questi criteri sono stati utilizzati per determinare, tra i numerosi studi individuati attraverso la ricerca bibliografica, quelli da includere nella presente analisi e quelli da escludere.

Partecipanti: sono stati esclusi studi su bambini e adolescenti, e studi in cui si parlasse di vertigini come patologie associate ad altri disturbi o che non trattavano nello specifico la problematica delle vertigini.

Intervento: sono inclusi gli studi con intervento principale di pertinenza fisioterapica attraverso AR e VR.

Confronto: esclusi unicamente gli studi in cui non sia stato operato alcun tipo di confronto.

Outcome: esclusi in maniera esclusiva solamente gli studi che non hanno chiaramente definito una misura dell'efficacia dell'intervento oggetto di studio.

Tipo di Studio: Sono stati esclusi rigorosamente dalla selezione i seguenti tipi di studio: le revisioni non sistematiche, gli studi non randomizzati, i case report e gli articoli che hanno una data poco recente.

### **Selezione degli studi**

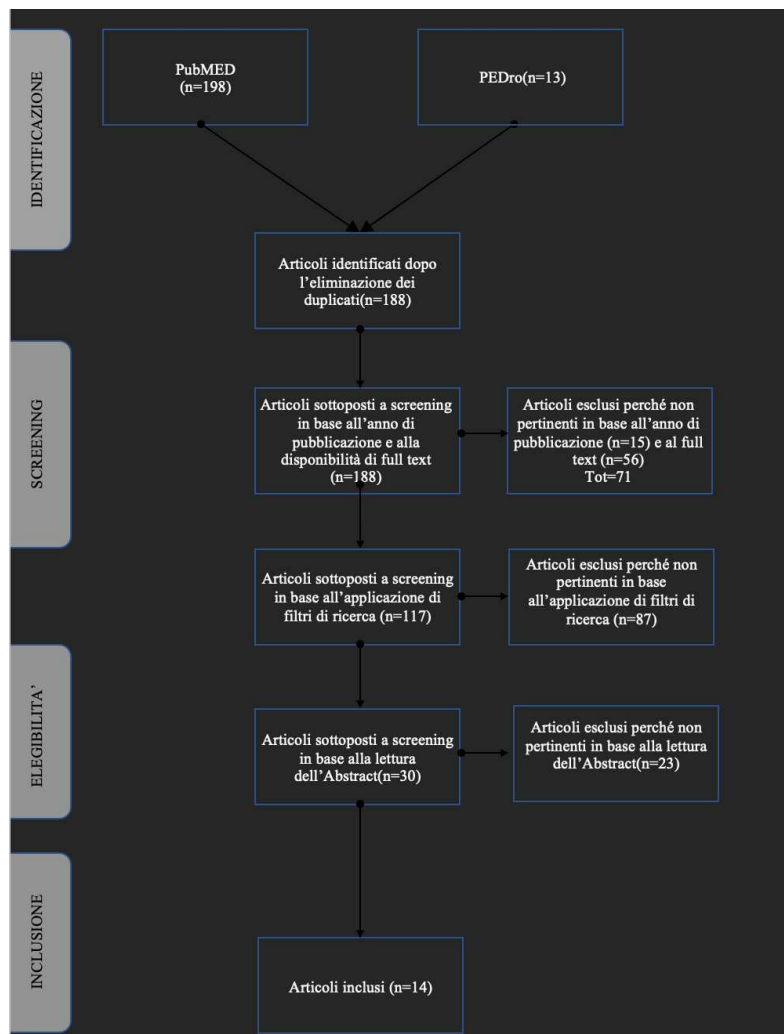
La ricerca è stata realizzata su due principali banche dati, ovvero PubMed e PEDro. Nella prima fase di selezione degli studi, vengono identificati 211 studi dalle due banche dati. Successivamente all'eliminazione dei duplicati è risultato un numero di studi corrispondente a 188. L'applicazione dei filtri di ricerca dove veniva richiesta la presenza di un testo completamente disponibile e che lo studio fosse pubblicato negli ultimi 15 anni, quindi non meno recente del 2007 e che fosse disponibile

l'intero articolo, porta un ammontare di 117 studi, escludendone quindi 71 (15 per l'anno di pubblicazione e i restanti 56 per l'assenza dell'intero articolo).

Tutti gli studi sono stati esaminati attraverso una valutazione basata esclusivamente sul titolo. Nei casi in cui, dalla semplice lettura del titolo, risultava evidente che il campione di popolazione o la patologia trattata non soddisfaceva i criteri di inclusione, che l'intervento proposto era diverso da quello fisioterapico o non poteva essere condotto da un fisioterapista, che l'articolo era scritto in una lingua diversa dall'inglese o che il tipo di studio non corrispondeva ai requisiti stabiliti, tali studi sono stati esclusi dalla revisione

Una seconda fase di screening ha previsto l'applicazione di ulteriori filtri di ricerca. Gli articoli rimanenti vengono considerati solo se sono Meta-Analysis, Clinical Trial, Randomized Controlled Trial e Systematic Review. Il totale è 30 articoli.

Infine, dopo una lettura degli abstract vengono esclusi 16 articoli per una patologia non conforme a quella indagata, 7 per un tipo di intervento non pertinente a quello ricercato portando così a un risultato di 7 articoli che soddisfano tutti i requisiti richiesti.





## CAPITOLO SESTO

### EVIDENZE DELLA LETTERATURA

In questo capitolo vengono illustrati in modo schematico i risultati forniti dagli studi selezionati al fine di discuterne le evidenze e trarre delle conclusioni.

- **Effectiveness of conventional versus virtual reality-based vestibular rehabilitation exercises in elderly patients with dizziness: a randomized controlled study with 6-month follow-up (11).**

L'obiettivo di questa ricerca è analizzare l'efficacia degli esercizi di riabilitazione vestibolare supportati dalla realtà virtuale, che includono ambienti di vita reale, su vertigini, equilibrio sia statico che dinamico, mobilità funzionale, paura di cadere, ansia e depressione in pazienti affetti da vertigini.

In uno studio controllato con 32 pazienti anziani (età  $\geq 65$ ) affetti da vertigini, essi sono stati casualmente suddivisi in due gruppi descritti in tabella. Nel gruppo 1 vengono mostrati due video, della durata rispettiva di 15 e 1,5 minuti, che immergono i pazienti in due contesti differenti. Gli esercizi sono stati svolti sia in posizione seduta che in piedi nel primo video, mentre nel secondo video sono stati eseguiti sul tapis roulant, in un ambiente clinico supervisionato. I video 3D sono stati riprodotti con uno smartphone (Samsung Galaxy-S7) collegato a un occhiale per realtà virtuale (Samsung Gear VR-SM323).

Studio	Partecipanti	Intervento	Out Comes misurati	Risultati e conclusioni
Effectiveness of conventional versus virtual reality-based vestibular rehabilitation exercises in elderly patients with dizziness: a randomized controlled study with 6-month follow-up	32 pazienti (età $\geq 65$ ) affetti da vertigini, divisi in due gruppi. Gruppo 1: (16) riabilitazione vestibolare con VR. Gruppo 2: (16) riabilitazione vestibolare convenzionale	30 minuti al giorno, cinque volte a settimana, per un totale di 15 sessioni distribuite su tre settimane.	Vertigo Symptom Scale (VSS) Dizziness Handicap Inventory (DHI) Berg Balance Test (BBT) Timed Up & Go Test (TUG) Falls Efficacy Scale-International (FES-I)	Immediatamente dopo la riabilitazione, sono state osservate differenze statisticamente significative tra i due gruppi nei punteggi di DHI e nel test TUG ( $p < 0,05$ ).

			Postural Stability Test (PST) Geriatric Depression Scale (GDS) Hamilton Anxiety Scale (HAS)  Al momento dell'ingresso nello studio, alla conclusione del trattamento e sei mesi dopo il termine del trattamento	Sei mesi dopo il completamento del trattamento, si sono verificati miglioramenti significativamente superiori nei punteggi del VSS, DHI, BBT, HAS e nei punteggi totali, ( $p < 0,05$ ).
--	--	--	---	--

I risultati indicano che la riabilitazione vestibolare virtuale ha portato a miglioramenti significativi nei punteggi VSS, DHI, il punteggio totale e il BBT sei mesi dopo il trattamento.

Va notato che questo studio rappresenta il primo studio prospettico randomizzato controllato a dimostrare i benefici della riabilitazione vestibolare basata sulla realtà virtuale, utilizzando occhiali virtuali e tecnologia smartphone, nel trattamento delle vertigini, migliorando l'equilibrio e la mobilità funzionale negli anziani. Tuttavia, va sottolineato che una limitazione significativa di questo studio è rappresentata dal numero limitato di pazienti coinvolti, il che potrebbe compromettere la capacità di trarre conclusioni definitive riguardo agli effetti clinici della riabilitazione vestibolare basata sulla realtà virtuale.

- **Comparison of Virtual Reality Based Therapy with Customized Vestibular Physical Therapy for the Treatment of Vestibular Disorders (12).**

(Gli autori dell'articolo) si sono proposti di analizzare i risultati ottenuti da individui affetti da disturbi vestibolari dopo aver ricevuto trattamenti di terapia basata sulla realtà virtuale (VRBT) e terapia fisica vestibolare personalizzata (PT) al fine di valutarne l'efficacia nel contrastare i sintomi delle vertigini. Il VRBT inizia con la creazione di un ambiente virtuale rappresentante un negozio di alimentari, creato con 3D Studio Max e adattato per l'utilizzo in schermi multipli, creando un'esperienza visiva

completamente immersiva, coprendo infatti l'intero campo visivo orizzontale del soggetto. L'ambiente virtuale è stato collegato a un tapis roulant personalizzato di dimensioni 2,0 m x 1,2 m, in grado di raggiungere una velocità massima di 1,2 m/s.

In base alle menomazioni e alle limitazioni funzionali identificate durante la valutazione iniziale, il programma di terapia fisica (PT) è stato personalizzato per affrontare quattro principali aspetti:

- Migliorare la stabilità dello sguardo durante attività che coinvolgono movimenti della testa, come fare shopping o camminare in luoghi affollati.
- Ridurre la sensibilità allo spazio e al movimento.
- Affrontare le vertigini legate ai movimenti della testa.
- Migliorare l'equilibrio e la stabilità posturale.

<b>Studio</b>	<b>Partecipanti</b>	<b>Intervento</b>	<b>Out Comes misurati</b>	<b>Risultati e conclusioni</b>
Comparison of Virtual Reality Based Therapy with Customized Vestibular Physical Therapy for the Treatment of Vestibular Disorders	38 pazienti con disturbi vestibolari periferici, centrali o misti, 20 hanno effettuato il trattamento attraverso VRBT e 18 attraverso PT.	6 sessioni di trattamento in 6 settimane per entrambi i gruppi.	I partecipanti sono stati sottoposti a valutazioni una settimana prima, una settimana dopo, e sei mesi dopo l'intervento, utilizzando misure di equilibrio funzionale che includevano autovalutazioni e valutazioni oggettive eseguite da un fisioterapista in modo cieco rispetto ai gruppi di trattamento.	Durante le sessioni di trattamento, si è osservato un aumento dei sintomi delle vertigini, ma un miglioramento è stato notato a lungo termine. Le due terapie proposte si sono equivalse. L'intervento VRBT può affrontare però le componenti psicologiche in modo indiretto, come l'attenuazione della sensazione d'ansia.

Sebbene l'utilizzo della VRBT comporti costi e sforzi maggiori rispetto alla PT, può essere considerata un'opzione praticabile nei casi in cui i sintomi principali di un individuo siano correlati

al disagio nello spazio e ai problemi di movimento, infatti il VRBT è stato progettato per aumentare l'interazione del soggetto con l'ambiente.

In generale, l'intero gruppo di partecipanti ha evidenziato notevoli miglioramenti in tre delle quattro misure di autovalutazione e quattro delle cinque misure di performance. Questi miglioramenti sono perdurati per sei mesi dopo la conclusione dell'intervento, anche se in molti casi non hanno raggiunto una differenza minima clinicamente significativa. È degno di nota che uno studio, citato in questo articolo, abbia evidenziato come una combinazione di terapia fisica personalizzata e stimoli visivi in movimento abbia portato a risultati superiori rispetto all'impiego di tali approcci in modo separato.

- **Use of Virtual Reality Tools for Vestibular Disorders Rehabilitation: A Comprehensive Analysis (13).**

La finalità dell'articolo selezionato è una revisione sistematica della letteratura attuale per esaminare i protocolli pubblicati relativi all'impiego di ambienti di realtà virtuale nella riabilitazione dei disturbi vestibolari periferici. Inoltre vengono proposte delle raccomandazioni per le applicazioni cliniche degli strumenti analizzati e per la progettazione di nuovi studi.

Questa analisi porta le evidenze di 7 studi nella quale vengono proposte delle sedute di riabilitazione attraverso la VR, per mezzo di sistemi differenti: tra i sette studi esaminati, il 71% ha impiegato occhiali o dispositivi montati sulla testa come parte del loro approccio, mentre il restante 28% ha utilizzato schermi posizionati davanti o attorno ai pazienti. È importante notare che in cinque degli studi inclusi è stata integrata l'uso di un tapis roulant o di una piattaforma di forza per migliorare l'efficacia del processo di riabilitazione.

Studio	Partecipanti	Interventi	Out Comes misurati	Risultati e conclusioni
Use of Virtual Reality Tools for Vestibular Disorders Rehabilitation: A Comprehensive Analysis	In totale 176 pazienti, con un'età compresa tra i 18-84 anni	Periodo di sedute che va da 1-8 settimane. Ogni sessione ha avuto una durata compresa di 24-45 minuti nel	Viene confrontato l'impatto dei sintomi vestibolari periferici utilizzando questionari validati	Nei casi in cui il Dizziness Handicap Inventory (DHI) è stato utilizzato, si è riscontrata una diminuzione media

Meta-analisi		contesto della riabilitazione vestibolare attraverso VR	sui disturbi vestibolari.  In tutti gli studi viene considerata la DHI.	di 26 punti su una scala di 100. Questa riduzione ha permesso ai pazienti di passare da un livello di handicap grave a moderato o da moderato a lieve.
--------------	--	---	---	--

Questa meta-analisi evidenzia il promettente potenziale del trattamento basato sulla realtà virtuale nei disturbi vestibolari periferici. Nonostante le notevoli variazioni nei protocolli e nei criteri di valutazione utilizzati, tutti gli studi hanno confermato l'efficacia e la buona tollerabilità delle strategie di riabilitazione basate sulla realtà virtuale. Un fattore cruciale che sembra influire sul successo del trattamento e sull'entità del miglioramento dei sintomi è la durata totale dell'addestramento in ambienti virtuali. Inoltre, la complessità dell'ambiente virtuale utilizzato non sembra influire direttamente sull'efficacia, poiché risultati significativi sono stati ottenuti anche con impostazioni meno costose. Un punto di forza di questa meta-analisi è la diversità delle popolazioni di pazienti coinvolte, che presentavano disturbi vestibolari periferici simili a quelli riscontrati in contesti clinici.

- **Effectiveness of virtual reality-based programs as vestibular rehabilitative therapy in peripheral vestibular dysfunction: a meta-analysis (14).**

L'obiettivo di questa ricerca consiste nell'analizzare l'efficacia della riabilitazione vestibolare basata sulla realtà virtuale nei pazienti colpiti da disturbi vestibolari periferici. Vengono considerati anche studi controllati che portavano un'evidenza oggettiva; nonostante la percezione soggettiva del paziente sia indispensabile per capire se il trattamento ha portato dei benefici, l'oggettività, ricercata negli articoli selezionati da questo studio, è una misura più rispettabile quando si parla di validità interna. Questo conferisce una maggiore forza alla ricerca.

Studio	Partecipanti	Interventi	Out Comes misurati	Risultati e conclusioni
Effectiveness of virtual reality-based programs as	Il campione di partecipanti comprendeva	La riabilitazione ha coinvolto l'addestramento di	Misure oggettive: posturografia (3 di 6 degli studi inclusi)	L'uso della realtà virtuale come strumento di

<p>vestibular rehabilitative therapy in peripheral vestibular dysfunction: a meta-analysis</p>	<p>soggetti di ambo i sessi, con un'età superiore ai 18 anni, che erano stati diagnosticati clinicamente con disfunzione vestibolare periferica, sia unilaterale che bilaterale, escludendo diagnosi specifiche di disturbi neurologici. (258 in totale)</p>	<p>equilibrio, sguardo e andatura utilizzando sistemi di realtà virtuale, senza restrizioni riguardo alla tecnica o alla durata della riabilitazione impiegata.</p>	<p>Misure soggettive: DHI, VSS-SF, VAS-SAT (scala analogica visiva), questionario sulla confidenza dell'equilibrio specifico delle attività (ABC).</p>	<p>riabilitazione vestibolare ha dimostrato un notevole potenziale beneficio clinico. Si sono riscontrati miglioramenti significativi nei parametri, inclusi DHI, VSS-SF, VAS-SAT e le valutazioni posturografiche, nei pazienti affetti da disturbi vestibolari periferici. Inoltre, è emerso che la riabilitazione attraverso la realtà virtuale è stata percepita dai pazienti come più soddisfacente e piacevole rispetto ai metodi di riabilitazione convenzionali.</p>
--	--	---	--	--

La meta-analisi su misure posturografiche di tre studi inclusi ha mostrato che l'uso della realtà virtuale è significativamente migliore rispetto ad altri approcci nel migliorare il controllo posturale e allargare i limiti di stabilità. Questo effetto positivo è attribuito al miglioramento delle informazioni spaziali provenienti dalla sorgente vestibolare, contribuendo a un migliore controllo posturale.

Nell'analisi dei risultati soggettivi, che comprendeva la valutazione dei punteggi totali di VSS-SF, VAS-SAT e DHI, l'efficacia della realtà virtuale è risultata essere statisticamente significativa ( $P < 0,00001$ ) rispetto alle tradizionali attività di riabilitazione vestibolare. I punteggi ridotti ottenuti sul VSS-SF suggeriscono una riduzione complessiva della sensazione di vertigini, coinvolgendo sia gli aspetti fisici che emotivi, con una marcata diminuzione dell'intensità osservata nel gruppo trattato con la realtà virtuale. Inoltre, l'analisi basata sulla scala analogica visiva (VAS)-SAT ha evidenziato un

maggiore livello di soddisfazione dei pazienti nei gruppi che hanno sperimentato la riabilitazione tramite realtà virtuale rispetto ai tradizionali metodi riabilitativi.

- **Virtual Reality Vestibular Rehabilitation in 20 Patients with Vertigo Due to Peripheral Vestibular Dysfunction (15).**

L'obiettivo dello studio è quello di valutare l'impatto della tecnologia della realtà virtuale nella riabilitazione vestibolare.

Vengono selezionati 20 pazienti escludendo pazienti che dopo gli esami laringologici e otoneurologici presentavano una lieve vertigine posizionale. I pazienti sono stati inclusi nello studio quando presentavano vertigini croniche dovute a danni periferici unilaterali al sistema vestibolare, in conformità con la classificazione internazionale dei disturbi vestibolari.

La realtà virtuale è stata sperimentata attraverso l'uso di occhiali VR basati sulla piattaforma di Google CardBoard. Durante le sessioni di esercizio, i pazienti hanno utilizzato questi occhiali VR insieme all'applicazione "montagne russe VR", che ha simulato un'esperienza di corsa sulle montagne russe.

Studio	Partecipanti	Interventi	Out Comes misurati	Risultati e conclusioni
Virtual Reality Vestibular Rehabilitation in 20 Patients with Vertigo Due to Peripheral Vestibular Dysfunction	20 pazienti con ipofunzione vestibolare unilaterale (UVH), con età compresa tra 29 e 66 anni. Divisi in due gruppi di 10	5 sessioni in 5 giorni consecutivi. Gruppo 1: riabilitazione vestibolare con VR e AR Gruppo 2: riabilitazione vestibolare con terapia convenzionale Cawthorne-Cooksey	Vertigo Symptom Scale - Short Form (VSS-SF) scale and the Visual Analog Scale (VAS).	La ricerca ha rivelato che la riabilitazione vestibolare basata sulla realtà virtuale per i pazienti con vertigini causate da danni al sistema vestibolare periferico è risultata altrettanto efficace della riabilitazione convenzionale, e in aggiunta ha portato a significativi incrementi nei livelli

				di soddisfazione dei pazienti.
--	--	--	--	--------------------------------

L'efficacia di questo approccio terapeutico è stata valutata analizzando l'intensità delle vertigini e la soddisfazione riportata dai pazienti, utilizzando il Questionario sulla Severità dei Sintomi Vertiginosi (VSS-SF) e la scala visiva analogica (VAS). I risultati hanno dimostrato che i pazienti sottoposti alla terapia estesa con realtà virtuale hanno riportato significativamente livelli più elevati di soddisfazione rispetto a quelli trattati con terapie convenzionali. Questi risultati sottolineano i vantaggi dell'integrazione della realtà virtuale nella terapia della riabilitazione vestibolare.

- **Virtual and augmented reality in the vestibular rehabilitation of peripheral vestibular disorders: systematic review and meta-analysis (16).**

Il seguente articolo porta in evidenza i risultati di 5 studi selezionati che sono studi randomizzati pubblicati tra il 2011 e il 2019, quindi con una data molto recente. Il chiaro obiettivo che si sono posti è quello di verificare l'efficacia di un trattamento attraverso VR e AR per la problematica delle vertigini a breve termine, ovvero dopo 3 mesi di trattamento. Nello specifico vengono analizzati il punteggio della DHI e l'effetto della realtà virtuale e aumentata sulla fiducia nell'equilibrio e sulle vertigini.

Studio	Partecipanti	Interventi	Out Comes misurati	Risultati e conclusioni
Virtual and augmented reality in the vestibular rehabilitation of peripheral vestibular disorders: systematic review and meta-analysis	Gruppo di intervento: 97 partecipanti  Gruppo di controllo: 107 pazienti  Età compresa tra i 44 e 77 anni	Due studi presi in considerazione hanno impiegato interventi basati sulla VR erogati tramite dispositivi portatili, mentre gli altri due studi hanno utilizzato un dispositivo di visualizzazione indossabile presso il domicilio del paziente. Uno dei cinque studi ha condotto un confronto	Punteggio della scala DHI.  Punteggio ABC.  Punteggio delle scale validate sulle vertigini: - MSQ (Migraine-specific quality of life)	A lungo termine i risultati dei punteggi delle due terapie si sono equivalsi. Nei primi tre mesi di terapia però la VR e la AR hanno permesso di raggiungere i miglioramenti in minor tempo.



		diretto tra i diversi approcci terapeutici.	- SVQ (Situational Vertigo Questionnaire )	Viene rilevata una differenza significativa (p = 0,001) tra i gruppi nel cambiamento del punteggio SVQ a favore degli interventi VR.
--	--	---	--	--

Questa meta-analisi fornisce supporto all'efficacia superiore dell'uso aggiuntivo della realtà virtuale rispetto alle modifiche dietetiche e alla sola riabilitazione vestibolare, compresi gli esercizi domiciliari di Cawthorne Cooksey, nell'obiettivo di ridurre il punteggio del DHI dei pazienti.

In sintesi, questa meta-analisi evidenzia che la riabilitazione vestibolare mediante realtà virtuale porta a miglioramenti significativamente superiori nei punteggi del DHI rispetto alla sola riabilitazione vestibolare nei pazienti affetti da compromissione vestibolare di moderata (DHI 31-60) a grave (DHI  $\geq$  61) causata da malattia vestibolare unilaterale, nell'intervallo di tempo da 0 a 3 mesi dopo l'intervento.

Tuttavia, è importante sottolineare che, sebbene la VR possa rappresentare un possibile coadiuvante nella terapia riabilitativa vestibolare per i pazienti con malattia vestibolare unilaterale, ulteriori studi di alta qualità sono necessari per confermare questa affermazione e approfondire la comprensione dei benefici di questa modalità di trattamento.

- **Three-dimensional, virtual reality vestibular rehabilitation for chronic imbalance problem caused by Ménière's disease: a pilot study (17)**

Lo scopo principale di questa ricerca era di valutare l'efficacia di un sistema di realtà virtuale tridimensionale nell'ambito della riabilitazione vestibolare, particolarmente nel contesto dei pazienti affetti da malattia di Ménière che non rispondevano alle terapie convenzionali e che presentavano una disfunzione vestibolare cronica.

In questo studio vengono analizzate le possibilità di creare un contesto riabilitativo progressivo, interattivo e dinamico, con lo scopo di integrare dei programmi di giochi VR nei protocolli di riabilitazione vestibolare, specialmente per pazienti affetti da malattia di Ménière.

<b>Studio</b>	<b>Partecipanti</b>	<b>Interventi</b>	<b>Out Comes misurati</b>	<b>Risultati e conclusioni</b>
Three-dimensional, virtual reality vestibular rehabilitation for chronic imbalance problem caused by Ménière's disease: a pilot study	70 pazienti divisi in due gruppi, 36 nel gruppo studio e 34 nel gruppo di controllo. I pazienti presentano uno squilibrio cronico dovuto alla malattia di Ménière e disfunzione vestibolare cronica.	Riabilitazione vestibolare e con VR che comprendeva 4 compiti: esercizi per la testa, gli occhi, la coordinazione e l'estensione. Esercizi di Cawthorne-Cooksey modificati. Sei sessioni di allenamento in 4 settimane per entrambi i gruppi. Nel gruppo di controllo non viene somministrata la terapia VR.	Il sistema di realtà virtuale ha registrato in maniera continua i dati relativi al tempo e al centro di pressione dei pazienti mentre affrontavano diverse attività. Per valutare eventuali modifiche nell'equilibrio verticale, è stata utilizzata una piattaforma di gioco (Wii Fit, Nintendo Phuten Co., Ltd., Taipei, Taiwan). Le misurazioni sono state effettuate prima e dopo le sessioni di allenamento nell'ambiente virtuale.	Nel gruppo di studio, si è osservato un miglioramento significativo in tutti i punteggi relativi alle attività di allenamento per gli occhi, la testa, l'estensione, il coordinamento e il punteggio totale dalla valutazione iniziale alla sessione finale di allenamento in realtà virtuale. Il gruppo di studio ha mostrato un miglioramento significativamente maggiore negli indici relativi al baricentro rispetto al gruppo di controllo.

Nel capitolo successivo, esploreremo i risultati di studi significativi condotti in questo campo di ricerca. Approfondiremo le conclusioni tratte da tali ricerche per ottenere una visione più chiara dell'efficacia e delle implicazioni della riabilitazione vestibolare utilizzando la realtà virtuale. Sarà un'opportunità per analizzare i dati empirici e trarre considerazioni importanti sulle potenzialità di questa promettente modalità di trattamento.

## CAPITOLO SETTIMO

### DISCUSSIONE

#### **Riabilitazione virtuale delle problematiche vestibolari**

Questo studio si pone l'obiettivo di valutare l'efficacia del trattamento con VR e AR delle problematiche vestibolari e delle vertigini. Nei diversi studi analizzati, viene dimostrato il potenziale promettente, nonostante le notevoli variazioni nei protocolli di trattamento adottati e nei metodi di valutazione dei risultati tra gli studi inclusi. Nei sette studi selezionati vengono utilizzati questionari validati e gruppi di controllo, questo alza la qualità metodologica e l'attendibilità di questi risultati.

Dai risultati emerge che l'utilizzo di esercizi di riabilitazione vestibolare basati sulla realtà virtuale si configura come un trattamento efficace per la riduzione delle vertigini, la mitigazione della disabilità correlata alle vertigini, il miglioramento dell'equilibrio, dell'abilità motoria e del controllo dell'ansia in pazienti affetti da vertigini.

È stato evidenziato che l'esposizione all'ambiente virtuale attraverso l'utilizzo di un sistema di realtà virtuale montato sulla testa può potenzialmente innescare adattamenti nel sistema vestibolare centrale, manifestando una temporanea riduzione del guadagno del riflesso vestibolo-oculare (VOR).

In studi condotti, è stato osservato un incremento del guadagno del VOR e un miglioramento nella scala del DHI in individui che utilizzano schermi visivi. Queste scoperte hanno portato alla conclusione che gli ambienti immersivi di elaborazione virtuale possono favorire un aumento del guadagno del VOR e una conseguente riduzione delle vertigini (11). Un interessante studio è stato condotto nel tentativo di provocare l'adattamento del riflesso vestibolo-oculare (VOR) in individui affetti da vertigini croniche. In questo studio, i partecipanti sono stati invitati a cercare oggetti all'interno di una scena panoramica visualizzata attraverso un display montato sulla testa (HMD). Dopo aver partecipato a 10 sessioni, ciascuna della durata fino a 30 minuti, è emerso che i soggetti hanno registrato un aumento nel loro guadagno VOR. Questo risultato è stato in netto contrasto con i soggetti di controllo, che non hanno ricevuto tale intervento. Questa scoperta sottolinea l'efficacia potenziale dell'utilizzo della realtà virtuale nel promuovere l'adattamento del riflesso vestibolo-oculare in pazienti con vertigini croniche. (12)

Tutti gli studi considerati prendono in considerazione la scala DHI, scala soggettiva, per valutare un miglioramento nei pazienti dopo le sedute di trattamento. Viene dimostrato che la VR migliora i punteggi DHI in maniera significativa rispetto alla riabilitazione vestibolare convenzionale nei primi

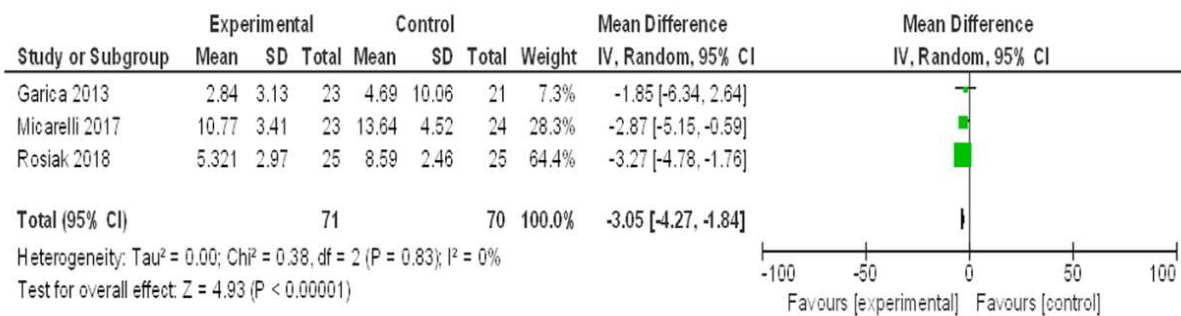
tre mesi di trattamento, soprattutto negli anziani e nei pazienti a cui era stato diagnosticato in precedenza un punteggio DHI grave ( $DHI > 61$ ). (13,16)

Alcuni degli studi proposti hanno portato evidenze su altre misure soggettive che permettono di considerare il trattamento VR nella riabilitazione vestibolare come valido. L'efficacia di questo approccio terapeutico è stata valutata attraverso l'analisi dell'intensità delle vertigini e della soddisfazione dei pazienti utilizzando il questionario VSS-SF e la scala VAS per raccogliere dati. I risultati hanno mostrato una significativa maggioranza di pazienti soddisfatti con la terapia VR estesa rispetto a quella convenzionale, evidenziando i benefici dell'integrazione della realtà virtuale nella terapia. Sebbene alla fine i risultati complessivi fossero simili nei due gruppi, i pazienti sottoposti alla terapia VR hanno riportato una maggiore soddisfazione riguardo all'intensità delle loro vertigini, come misurato dalla scala VAS nel questionario VSS-SF (15). Inoltre, questi pazienti hanno mostrato una tendenza statistica alla crescente soddisfazione nelle visite successive, confermando i vantaggi della terapia VR aggiuntiva. Questo suggerisce che i pazienti sottoposti alla terapia VR sperimentano benefici terapeutici più rapidamente rispetto a quelli trattati solo in modo convenzionale. In generale, tutti i pazienti trattati hanno riportato risultati soddisfacenti misurati dalla scala VAS. (14,15)

La scala ABC presenta alcune similitudini con il DHI, in quanto entrambi valutano le restrizioni dei pazienti misurando il loro livello soggettivo di fiducia nell'equilibrio durante 16 attività quotidiane. È emerso che l'uso dell'HMD HBVR (Head-Mounted Display per la Riabilitazione Vestibolare) migliora la fiducia nell'equilibrio nei pazienti anziani. Questo miglioramento è stato significativamente maggiore rispetto alla sola riabilitazione vestibolare sia a 1 settimana che a 12 mesi dopo l'intervento. Tuttavia, è importante considerare che i risultati dovrebbero essere interpretati con cautela in quanto gli studi pertinenti non hanno tenuto conto dell'attività fisica dei pazienti. È noto che l'attività fisica può favorire la compensazione vestibolare centrale e migliorare i risultati della riabilitazione vestibolare nei pazienti. (16)

L'utilizzo di misure oggettive è stato ritenuto più robusto nel contesto di questo studio. Sebbene i risultati soggettivi siano di fondamentale importanza per valutare i benefici clinici, la presenza di miglioramenti simili nelle misure oggettive può contribuire a rafforzare la validità interna degli studi. La meta-analisi condotta in questo studio riguardante la posturografia (misurando il centro di pressione su una superficie solida con un occhio chiuso) è stata basata su dati provenienti da tre degli studi inclusi. I risultati mostrano che non c'è eterogeneità tra questi studi (test di eterogeneità pari a 0%) e che il valore di P per la stima dell'effetto complessivo è altamente significativo ( $P < 0,00001$ ). Questo indica che, in generale, l'uso della realtà virtuale è superiore ad altri metodi nel migliorare il controllo posturale e nell'espandere i limiti di stabilità. Questo risultato può essere spiegato dal fatto che la realtà virtuale migliora l'apporto vestibolare di informazioni spaziali e

favorisce la conseguente riequilibrio centrale, contribuendo così al miglioramento del controllo posturale. (14)



Forest plot for meta- analysis of posturography (COP on a firm surface with a closed eye) (14)

### Limiti della revisione

È opportuno inizialmente considerare la limitata numerosità del campione coinvolto in vari studi. Talvolta, i pazienti inclusi, sia nel gruppo sottoposto a trattamento che in quello di controllo, sono in numero esiguo. Aumentare le dimensioni del campione o aggiungere ulteriori gruppi di controllo potrebbe rivelarsi una sfida complessa, soprattutto quando gli esperimenti richiedono notevoli risorse finanziarie e coinvolgono un numero significativo di pazienti. (13)

Per ottenere una comprensione più accurata dell'efficacia di VR e AR nella riabilitazione vestibolare, è necessario condurre studi randomizzati di alta qualità. Questi studi dovrebbero coinvolgere un numero maggiore di pazienti, considerando l'ampia eterogeneità presente in termini di cause sottostanti, gravità dei sintomi, età dei pazienti e comorbidità rilevanti per la riabilitazione vestibolare. Questo approccio mira a migliorare la precisione nella valutazione delle dimensioni dell'effetto di VR e AR in questo contesto. (16)

In altre parole, la ricerca dovrebbe essere condotta in modo più rigoroso, includendo un campione più ampio di pazienti con vari aspetti legati alla loro condizione vestibolare. Questo consente di ottenere risultati più attendibili sull'efficacia delle tecnologie di VR e AR nella riabilitazione vestibolare.

L'utilizzo di ambienti virtuali basati sulla realtà nella medicina di riabilitazione è ostacolato da un fattore significativo noto come "cybersickness". Questa condizione si verifica a causa di stimoli multisensoriali che sono innaturali e, talvolta, contraddittori. Durante o dopo l'esposizione a questi ambienti virtuali interattivi, i pazienti possono sperimentare disagio, il quale è definito attraverso sintomi simili a quelli riscontrati in contesti come il cinema, tra cui nausea, vomito, mal di testa,

sonnolenza, perdita di equilibrio e difficoltà di coordinazione motoria delle mani. La cybersickness rappresenta quindi una sfida da affrontare quando si considera l'impiego di tali tecnologie nella riabilitazione medica. Tuttavia, è stato rilevato che tali effetti si manifestano inizialmente in modo acuto, ma tendono a diminuire gradualmente nel tempo nei pazienti che si abituano all'uso della VR. Questi effetti collaterali acuti sono una componente intrinseca dei programmi di riabilitazione vestibolare, poiché contribuiscono all'adattamento e all'abituazione del paziente al trattamento. Prima di avviare un intervento di riabilitazione vestibolare basato sulla Realtà Virtuale, è di cruciale importanza che i pazienti siano pienamente informati riguardo a questi effetti collaterali e alla loro finalità. (13)

### **Direzioni future**

L'evoluzione costante delle tecnologie di VR offre molte opportunità interessanti per il settore della riabilitazione vestibolare. Tuttavia, per sfruttarne appieno il potenziale, è necessario guardare verso il futuro e considerare alcune direzioni chiave. Ad esempio è necessario condurre degli studi dove venga valutata l'efficacia della terapia VR associata a una terapia vestibolare convenzionale, cosa che non accade in nessuno degli studi analizzati.

Altro aspetto degno di considerazione è la personalizzazione delle terapie. Le terapie VR dovranno essere sempre più personalizzate per adattarsi alle esigenze specifiche di ciascun paziente. Ciò richiede un'attenzione particolare alla varietà di condizioni vestibolari e alla diversità dei pazienti. L'acquisizione di dati biometrici e le valutazioni iniziali dettagliate aiuteranno a modellare terapie mirate. Questo punto mi fa collegare alla necessità di sviluppare tecnologie di monitoraggio e feedback in tempo reale sempre più avanzate. Ciò consentirà ai terapisti di valutare e adattare le terapie in modo più preciso, ottimizzando così i risultati. La tecnologia wearable e i sensori incorporati nei dispositivi VR forniranno dati cruciali per l'adattamento dinamico delle sessioni di riabilitazione. L'uso della VR per la riabilitazione in ambiente domiciliare potrebbe essere un campo da approfondire con dei successivi studi, con il tentativo di capire e indagare gli effetti del tempo di esposizione a questo tipo di riabilitazione.

In sintesi, il futuro dell'utilizzo della VR nella riabilitazione vestibolare richiederà una maggiore personalizzazione, l'uso di tecnologie avanzate e un impegno costante nella ricerca, allo scopo di offrire ai pazienti un trattamento sempre più efficace e confortevole. L'innovazione in questo campo promette di migliorare notevolmente la qualità della vita dei pazienti affetti da disturbi vestibolari.

## CAPITOLO OTTAVO

### CONCLUSIONI

L'analisi della letteratura condotta ha l'obiettivo di presentare le evidenze riguardo all'efficacia del trattamento vestibolare utilizzando la realtà virtuale. Attraverso la revisione degli articoli selezionati, vengono delineate le conferme riguardo all'efficacia di questo tipo di trattamento vestibolare, comparandolo con le terapie vestibolari tradizionali e con le altre approvate indicazioni mediche e fisioterapiche per la patologia in questione. Poiché la tecnologia proposta per queste terapie è relativamente recente, i risultati ottenuti costituiranno una solida base per future ricerche. L'evoluzione della ricerca in questo campo appare molto promettente poiché le sessioni di riabilitazione vestibolare basate su realtà aumentata e virtuale non saranno applicate in modo isolato, ma verranno integrate con le pratiche di riabilitazione vestibolare convenzionali al fine di massimizzare i risultati della riabilitazione.

## BIBLIOGRAFIA

1. Khan S, Chang R. Anatomy of the vestibular system: A review. Greenwald BD, Gurley JM, curatori. *NeuroRehabilitation*. 21 maggio 2013;32(3):437–43.
2. Buckner RL. The Cerebellum and Cognitive Function: 25 Years of Insight from Anatomy and Neuroimaging. *Neuron*. ottobre 2013;80(3):807–15.
3. Bouccara D, Rubin F, Bonfils P, Lisan Q. Vertiges et troubles de l'équilibre : démarche diagnostique. *Rev Médecine Interne*. novembre 2018;39(11):869–74.
4. Neuhauser HK. Epidemiology of vertigo. *Curr Opin Neurol*. febbraio 2007;20(1):40–6.
5. Karatas M. Central Vertigo and Dizziness: Epidemiology, Differential Diagnosis, and Common Causes. *The Neurologist*. novembre 2008;14(6):355–64.
6. Reiley AS, Vickory FM, Funderburg SE, Cesario RA, Clendaniel RA. How to diagnose cervicogenic dizziness. *Arch Physiother*. dicembre 2017;7(1):12.
7. Milgram P, Takemura H, Utsumi A, Kishino F. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In: Das H, curatore. Boston, MA; 1995 [citato 20 ottobre 2023]. p. 282–92. Disponibile su: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=981543>
8. Aliprantis J, Caridakis G. A Survey of Augmented Reality Applications in Cultural Heritage: *Int J Comput Methods Herit Sci*. 1 luglio 2019;3(2):118–47.
9. Ahmadpour N, Randall H, Choksi H, Gao A, Vaughan C, Poronnik P. Virtual Reality interventions for acute and chronic pain management. *Int J Biochem Cell Biol*. settembre 2019;114:105568.
10. Liao YY, Tseng HY, Lin YJ, Wang CJ, Hsu WC. Using virtual reality-based training to improve cognitive function, instrumental activities of daily living and neural efficiency in older adults with mild cognitive impairment. *Eur J Phys Rehabil Med* [Internet]. febbraio 2020 [citato 20 ottobre 2023];56(1). Disponibile su: <https://www.minervamedica.it/index2.php?show=R33Y2020N01A0047>
11. Kanyılmaz T, Topuz O, Ardiç FN, Alkan H, Öztekin SNS, Topuz B, et al. Effectiveness of conventional versus virtual reality-based vestibular rehabilitation exercises in elderly patients with dizziness: a randomized controlled study with 6-month follow-up. *Braz J Otorhinolaryngol*. novembre 2022;88:S41–9.
12. Alahmari KA, Sparto PJ, Marchetti GF, Redfern MS, Furman JM, Whitney SL. Comparison of Virtual Reality Based Therapy With Customized Vestibular Physical Therapy for the Treatment of Vestibular Disorders. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. marzo 2014;22(2):389–99.
13. Bergeron M, Lortie CL, Guitton MJ. Use of Virtual Reality Tools for Vestibular Disorders Rehabilitation: A Comprehensive Analysis. *Adv Med*. 2015;2015:1–9.
14. Hazzaa NM, Manzour AF, Yahia E, Mohamed Galal E. Effectiveness of virtual reality-based programs as vestibular rehabilitative therapy in peripheral vestibular dysfunction: a meta-analysis. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. luglio 2023;280(7):3075–86.
15. Stankiewicz T, Gujski M, Niedzielski A, Chmielik LP. Virtual Reality Vestibular Rehabilitation in 20 Patients with Vertigo Due to Peripheral Vestibular Dysfunction. *Med Sci Monit* [Internet]. 31 dicembre 2020 [citato 20 ottobre 2023];26. Disponibile su: <https://www.medscimonit.com/abstract/index/idArt/930182>
16. Heffernan A, Abdelmalek M, Nunez DA. Virtual and augmented reality in the vestibular rehabilitation of peripheral vestibular disorders: systematic review and meta-analysis. *Sci Rep*. 8 settembre 2021;11(1):17843.
17. Hsu SY, Fang TY, Yeh SC, Su MC, Wang PC, Wang VY. Three-dimensional, virtual reality vestibular rehabilitation for chronic imbalance problem caused by Ménière's disease: a pilot study. *Disabil Rehabil*. 31 luglio 2017;39(16):1601–6.



