

Università degli Studi di Napoli “Federico II”

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Area Didattica di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”



Laurea triennale in Ottica e Optometria

Il rapporto tra equilibrio e visione

Relatori:

Prof. Michele Gagliardi

Candidato:

Roberta Esposito
Matricola M44000287

A.A. 2018/2019

INDICE

•	INTRODUZIONE	3
•	CAPITOLO 1: <u>INTERAZIONE TRA I SISTEMI CHE INFLUENZANO L'EQUILIBRIO</u>	4
	1.1 IL SISTEMA NERVOSO	5
	1.2 IL SISTEMA VESTIBOLARE	7
	1.3 IL SISTEMA VISIVO	10
•	CAPITOLO 2: <u>AREE CEREBRALI INTERESSATE ALLA VISIONE E ALL'EQUILIBRIO</u>	20
	2.1 IL CERVELLO	21
	2.2 IL DIENCEFALO	22
	2.3 IL MESENCEFALO	24
	2.4 IL CERVELLETTO	25
•	CAPITOLO 3: <u>ANALISI SPERIMENTALE</u>	27
•	CAPITOLO 4: <u>ANALISI DEI DATI</u>	30
•	CONCLUSIONI	31
•	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	32
•	RINGRAZIAMENTI	33

A mio nonno,
che mi ha aiutato ad essere qui oggi,
oltre ogni separazione fisica.

INTRODUZIONE

Nelle attività quotidiane, come camminare, osservare un oggetto, fare attività sportiva, si innescano dei meccanismi ai quali non facciamo caso, che consideriamo “automatici”.

Invece, dietro ogni nostra azione, volontaria o involontaria che sia, si nascondono dei cambiamenti a livello cerebrale, che consentono al nostro corpo di compiere dei movimenti.

L’interazione con il mondo esterno è fondamentale affinché l’essere umano percepisca sé stesso ed il suo corpo nello spazio, per far sì che diventi un ambiente familiare. Per raccogliere quante più informazioni possibili, ogni essere vivente sviluppa maggiormente dei sensi rispetto agli altri; l’uomo, ad esempio, ha la possibilità di “servirsi” dei suoi organi di senso per la percezione della vista, del gusto, dell’olfatto, del tatto e dell’udito.

Col passare del tempo e con il continuo scambio di informazioni con il mondo al di fuori di noi, impariamo a riconoscere un odore, a ricordare i volti dei nostri familiari, a cantare a memoria le canzoni che abbiamo ascoltato numerose volte.

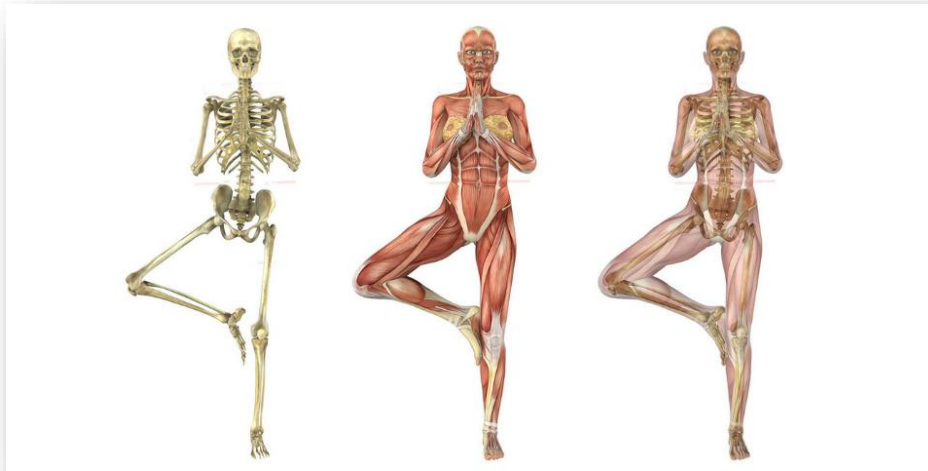
Molto spesso, per interpretare un segnale che sembra “unico”, vengono attivati milioni di neuroni appartenenti a più organi. Questo avviene, ad esempio, quando una ballerina compie più giri su sé stessa: mentre si attivano tutti i muscoli per poter compiere il movimento, gli occhi svolgono una funzione essenziale: lo sguardo deve essere rivolto sempre verso un punto fisso, altrimenti, nel momento in cui il movimento si arresta, la ballerina rischia di perdere l’equilibrio e cadere.

Ma cos’è l’equilibrio? E qual è il contributo che dà la vista?

Per rispondere a queste domande, verrà trattato nello specifico il Sistema Tónico Posturale e le sue componenti e cosa avviene all’interno delle aree encefaliche interessate.

Nell’analisi sperimentale si valuterà, attraverso degli esami specifici, se ci sono differenze di percezione dell’equilibrio tra persone che presentano difetti refrattivi e persone che non ne presentano.

CAPITOLO 1: INTERAZIONE TRA I SISTEMI CHE INFLUENZANO L'EQUILIBRIO



Il rapporto tra visione ed equilibrio è legato a molteplici fattori ed interazioni tra il *sistema nervoso*, il *sistema vestibolare* ed il *sistema visivo*. L'insieme delle varie strutture, che comunicano tra loro, forma il **Sistema Tónico Posturale**; la sua funzione è quella di contrastare la forza di gravità, opporsi alle forze esterne, permettere l'equilibrio e la percezione del nostro corpo nello spazio circostante. Al fine di riuscire a svolgere la sua attività statica e dinamica, l'essere umano deve essere in grado di adattarsi all'ambiente che lo circonda e può farlo solo se è in grado di assumere le posizioni più adatte al contesto ed alle esigenze nelle quali si trova, assumendo una corretta *postura*.

Nella collaborazione tra le varie strutture che permette all'essere umano la stabilità posturale, il nostro organismo utilizza diverse risorse:

- recettori sensoriali, che hanno funzione sia esteroceettiva che propioceettiva (occhio, orecchio interno, cute);
- effettori, che trasmettono l'impulso nervoso agli organi in cui sono dislocati, attivandoli (ossa, muscoli, articolazioni);
- centri superiori, che comprendono i centri di integrazione, i nuclei e le aree corticali più complesse dell'encefalo, componenti del Sistema Nervoso Centrale.

1.1 IL SISTEMA NERVOSO



Il sistema nervoso si suddivide in **sistema nervoso centrale (SNC)** e **sistema nervoso periferico (SNP)**.

Il *SNC* è composto dall'encefalo e dal midollo spinale ed è responsabile di integrazione, elaborazione e coordinamento delle informazioni sensitive e degli stimoli motori. È la sede delle funzioni superiori, come l'intelligenza, la memoria, l'apprendimento e le emozioni.

Il *SNP* è composto dal tessuto nervoso presente all'esterno del SNC. Le informazioni sensitive sono trasportate al SNC per via afferente dal SNP, mentre le informazioni motorie arrivano ai tessuti ed agli organi periferici per via efferente dal SNC.

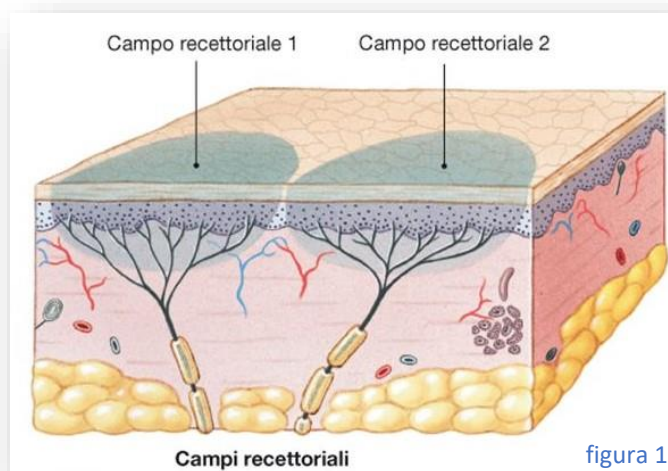
La *via afferente* inizia con un recettore sensitivo, somatico o viscerale, che avverte una specifica modificazione nell'ambiente esterno attraverso uno stimolo che genera informazioni, le quali verranno poi trasportate al SNC. La *via efferente* inizia all'interno del SNC e termina a livello di un effettore, come una cellula muscolare, ghiandola o specializzata a compiere delle specifiche funzioni e comprende il sistema nervoso somatico (SNS), che controlla le contrazioni della muscolatura scheletrica, ed il sistema nervoso autonomo (SNA), che regola l'attività della muscolatura liscia e cardiaca e delle ghiandole.

I recettori sensitivi sono cellule (o processi cellulari) che raccolgono informazioni provenienti dall'ambiente esterno ed interno e le trasportano al SNC; l'informazione sensitiva viene definita *sensazione*. Le sensazioni inerenti a temperatura, dolore, tatto, pressione, vibrazione e propriocettività appartengono alla *sensibilità generale*, mentre quelle di olfatto, gusto, equilibrio, vista e udito appartengono alla *sensibilità specifica*.

I recettori di sensibilità generale si trovano sparsi in tutto il corpo e le sensazioni hanno come punto d'arrivo la corteccia somatosensoriale; i recettori di sensibilità specifica si trovano all'interno degli organi di senso (come orecchio e occhio) ed arrivano al tronco encefalico. Il sistema nervoso controlla e coordina risposte rapide a stimoli specifici.

Ogni recettore controlla una specifica area definita *campo recettoriale* (figura 1): maggiore sarà la dimensione del campo recettoriale, minore sarà la capacità di localizzare lo stimolo, il quale può giungere sotto forme differenti, come

una forza chimica, una pressione o un fascio di luce. Qualsiasi sia la natura dello stimolo, le informazioni sensitive devono essere inviate al SNC sotto forma di potenziali d'azione, cioè come stimoli elettrici. Inizialmente, i recettori rispondono vivacemente ad uno stimolo, ma in seguito tendono a adattarsi, cioè presentano una riduzione di sensibilità quando c'è uno stimolo costante e modificano i loro livelli di attività.



I recettori ad *adattamento rapido* sono definiti recettori fasici: si mostrano inattivi, ma possono attivarsi per un breve periodo nel caso cambiassero le condizioni che essi stessi controllano e forniscono informazioni riguardo l'intensità e la frequenza di variazione di uno stimolo (recettori pressori e tattili presenti nella cute); i recettori ad *adattamento lento* sono definiti recettori tonici: sono sempre attivi e, in presenza di uno stimolo prolungato, continuano a trasmettere fino alla fine dello stimolo o almeno per molte ore (fotorecettori dell'occhio e i diversi recettori che controllano la posizione corporea). Ci sono, inoltre, i recettori che presentano attività *sia tonica che fasica*, che convogliano informazioni sensitive molto complicate, come i recettori che controllano le posizioni ed i movimenti delle articolazioni.

I recettori sensoriali che controllano l'equilibrio, sono i **proprioceettori**, gli **esteroceettori** ed i **recettori vestibolari**. I *proprioceettori* sono recettori di sensibilità generale, specificamente *meccanocettori*, e controllano la posizione ed il movimento delle articolazioni, dello stato di tensione dei tendini e dei legamenti e lo stato della contrazione muscolare. I proprioceettori,

insieme alle informazioni provenienti dall'orecchio interno, forniscono il senso della posizione del corpo nello spazio, definita appunto *propriocezione*. Gli *esterocettori* sono recettori sensibili a stimoli che provengono dall'esterno, specifici per i sensi quali vista, udito e tatto, capaci di trasportare le informazioni provenienti dagli organi di senso, permettendo alla nostra postura di adattarsi continuamente all'ambiente circostante. I *recettori vestibolari* sono i recettori presenti all'interno del vestibolo, struttura dell'orecchio interno e facente parte del sistema vestibolare, importanti per il nostro senso di equilibrio statico, in quanto segnalano modificazioni della posizione della testa nello spazio quando il corpo è fermo.

1.2 IL SISTEMA VESTIBOLARE

Il sistema vestibolare ha sede dietro l'**orecchio interno**, in profondità dell'osso temporale, e serve per raccogliere informazioni circa la posizione del corpo nello spazio e di integrarle con quelle provenienti dal sistema visivo e propriocettivo, al fine di produrre riflessi per una corretta visione durante i movimenti del capo, per l'equilibrio statico e dinamico e per fornire una corretta percezione del movimento e dell'orientamento della testa nello spazio.

L'orecchio interno è composto esternamente dal labirinto osseo (figura 2), contenente perilinfa, ed internamente dal labirinto membranoso, contenente endolinfa. Perilinfa ed endolinfa

sono dei fluidi composti da ioni che regolano gli impulsi elettrochimici delle *cellule cigliate* (recettori sensoriali dell'orecchio interno, specificamente meccanocettori). Interponendosi tra il labirinto osseo e il labirinto membranoso, la perilinfa agisce da cuscinetto ammortizzante, che impedisce gli urti tra una delle strutture dell'orecchio interno e le pareti ossee circostanti. L'endolinfa, invece, gioca un ruolo fondamentale nel processo di percezione dei suoni e nei meccanismi di equilibrio.

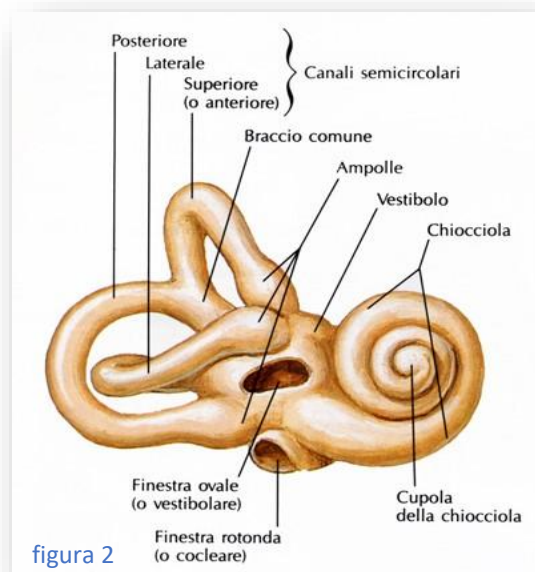


figura 2

Strutturalmente, il *labirinto membranoso* (figura 3) è composto da:

- **Coclea**, al cui interno si trovano i nervi uditivi deputati alla trasmissione ed alla percezione del suono ed ha una forma a chiocciola;
- **Vestibolo** e **canali semicircolari**, che costituiscono l'apparato vestibolare, specificatamente preposto al controllo dell'equilibrio.

Al fine della nostra analisi tra il rapporto che c'è tra la visione e l'equilibrio, andremo ad analizzare nello specifico il vestibolo ed i canali semicircolari.

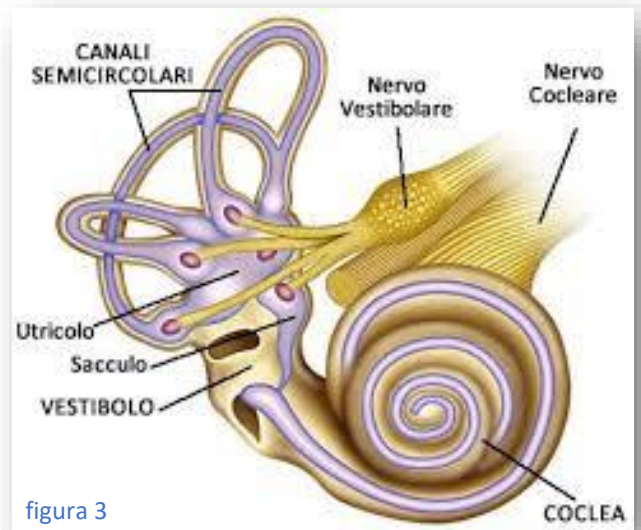


figura 3

Il **vestibolo** è composto da due *organi otolitici vescicolari*: uno superiore, chiamato **utrículo** ed uno inferiore, chiamato **sacculo**, comunicanti tra loro. Sono responsabili dell'orientamento della testa rispetto alle accelerazioni lineari ed alla gravità, controllando il cosiddetto *equilibrio statico*, ossia l'equilibrio nel momento in cui il corpo è immobile o si muove in linea retta. All'interno di entrambi gli organi otolitici è presente una piccola area sensoriale, chiamata macula (figura 4), costituita

da *cellule cigliate*, che sono rappresentate da un chinociglio (più lungo) e da una serie di stereociglia (più corte, che rappresentano estroflessioni della

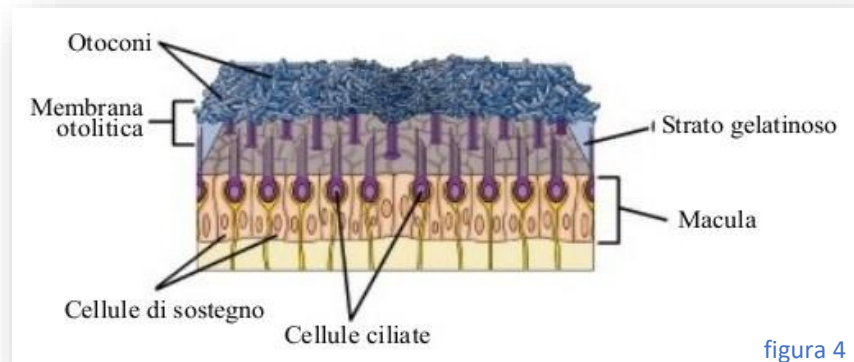


figura 4

membrana plasmatica della

cellula), e da *cellule di sostegno*. La macula è ricoperta da uno strato gelatinoso, al di sopra del quale c'è una struttura fibrosa, la *membrana otolitica*, composta da **otoliti** (o otoconi), piccoli sassolini costituiti da ossalato di calcio e carbonato di calcio, i quali stimolano le cellule cigliate sensoriali dell'orecchio quando si cambia posizione o inizia un movimento.

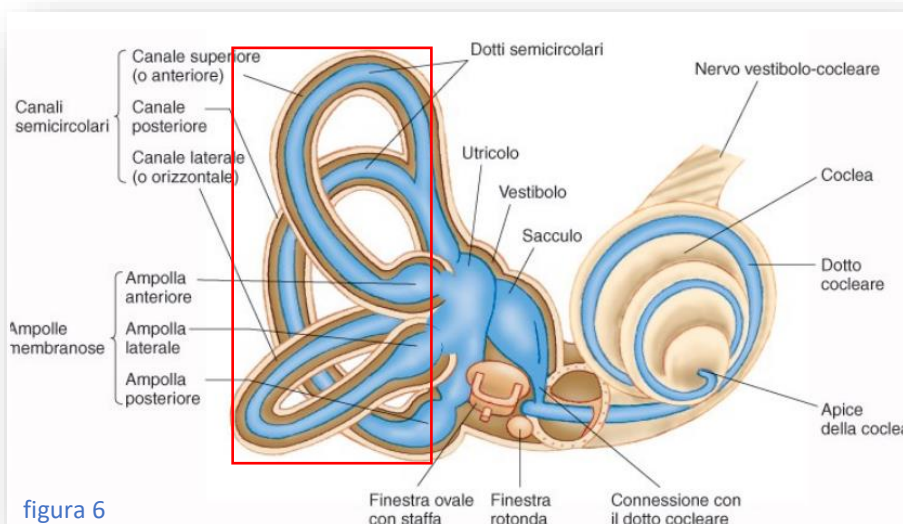
Le cellule cigliate sono disposte in maniera opposta attorno ad un asse di simmetria chiamato *striola*; nella macula sacculare hanno il chinociglio rivolto in senso opposto alla striola, mentre

nella macula utricolare il chinociglio è rivolto verso la striola (figura 5). Quando avviene un movimento del capo, il peso degli otoliti sullo strato gelatinoso comporta un piegamento delle stereociglia, che eccitano le cellule ciliate poste da un lato della striola ed inibiscono quelle poste dall'altro lato, scatenando così i fenomeni cellulari che danno inizio allo stimolo nervoso. L'utricolo, più grande del sacculo, presenta la macula in posizione orizzontale ed è sensibile alle accelerazioni lineari del capo causate dai moti traslatori in avanti-indietro e destra-sinistra (nel piano orizzontale), mentre il sacculo presenta la macula in posizione verticale ed è sensibile alle accelerazioni in alto ed in basso (nel piano sagittale).

figura 5



I **canali semicircolari** (figura 6, nel riquadro rosso) sono tre condotti ricurvi che si trovano sopra al vestibolo ed in comunicazione con esso, ripieni di endolinfa. Distinguiamo i canali *superiore*, *posteriore* e *laterale*: i canali superiore e posteriore sono allineati verticalmente e sono perpendicolari tra loro, mentre il canale laterale si trova sul piano orizzontale; sono tutti in



posizione
ortogonale tra
loro. Ogni canale
semicircolare ha
alla sua base
un'espansione
bulbosa chiamata
ampolla,
contenente
l'epitelio

sensoriale definito

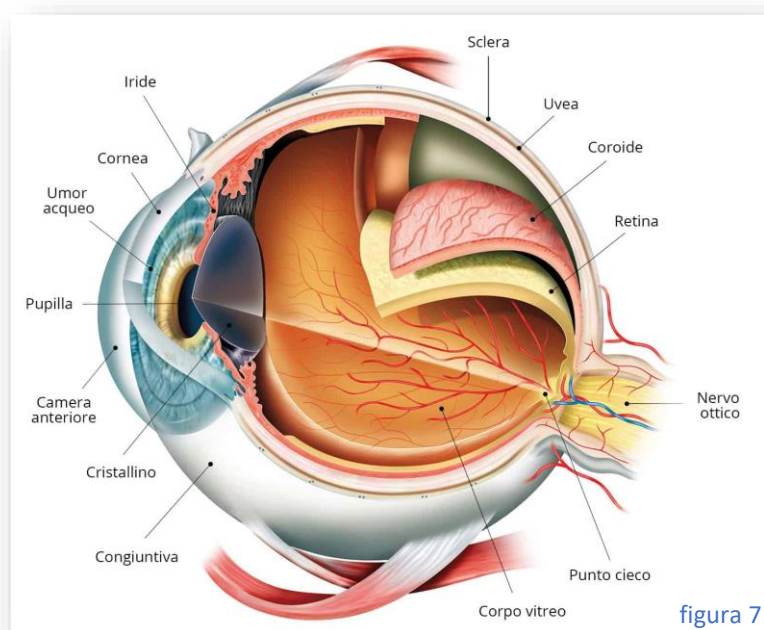
cresta, all'interno del quale sono presenti le cellule cigliate, già presenti all'interno della macula del sacculo e dell'utricolo. I ciuffi delle cellule cigliate si estendono al di fuori della cresta in una massa gelatinosa, la *cupola*, barriera viscosa che permette all'endolinfa di non circolare, ma che viene distorta dai suoi movimenti. Quando avviene un movimento angolare della testa, i canali semicircolari si spostano nella stessa direzione, mentre l'endolinfa, essendo

soggetta ad inerzia, tende a non spostarsi inizialmente, per poi generare, successivamente, una forza sulla cupola che provoca un movimento in direzione opposta, facendo muovere le ciglia. Ciascun canale semicircolare lavora in coppia con il controlaterale, dove le cellule cigliate sono allineate in senso contrario ed avremo che quando uno sarà eccitato, l'altro sarà inibito; quindi, se ad esempio la testa ruota verso destra, ci sarà eccitamento nel canale orizzontale destro ed inibizione nel canale orizzontale sinistro, cioè ogni rotazione determina un effetto opposto sui due recettori controlaterali.

La funzione dei canali semicircolari è, quindi, quella di captare le accelerazioni angolari alle quali è sottoposto il capo durante i movimenti rotatori, controllando l'*equilibrio dinamico*, ossia l'equilibrio nel momento in cui un corpo è in movimento.

Le informazioni derivanti dalle creste ampollari e dalle macule saccolari ed utricolari, vengono raccolte dal **nervo vestibolare**, il quale trasferisce le sue informazioni ai nuclei vestibolari del tronco encefalico per elaborare una risposta. Il nervo vestibolare fa parte dell'VIII nervo cranico, il *nervo vestibolococleare*, ed è una componente importante del riflesso vestibolo-oculare (VOR), che serve a stabilizzare l'immagine sulla retina durante la rotazione della testa: quando la testa ruota ad una certa velocità, gli occhi ruotano con la stessa velocità, ma in direzione opposta. Se non ci fosse il riflesso vestibolo-oculare, vedremmo un'immagine sfocata ad ogni movimento della testa.

1.3 IL SISTEMA VISIVO



Il sistema visivo è composto dalle strutture che convertono la luce proveniente dall'esterno in sensazione e percezione della visione; tra queste strutture c'è l'organo di senso più importante del nostro organismo, l'occhio (figura 7); infatti, circa l'83% delle informazioni provenienti dal mondo esterno, sono acquisite grazie alla vista.

L'**occhio** è considerato come interfaccia del sistema nervoso sull'ambiente esterno, infatti è classificato come *esterocettore*, in quanto capta i segnali provenienti al di fuori dell'organismo. Le strutture che lo compongono sono: *cavità orbitaria*, *bulbo oculare* e *vie ottiche*. La cavità orbitaria è la cavità ossea del cranio che avvolge e contiene il bulbo oculare ed i suoi annessi, come palpebre, vie lacrimali, muscoli estrinseci, vasi e nervi dell'occhio. Il *bulbo oculare*, di forma pressoché sferica, è composto di tre strati definiti tonache che, dall'esterno verso l'interno, sono: *tonaca fibrosa*, *tonaca vascolare* e *tonaca nervosa*.

La **tonaca fibrosa** (figura 8), che rappresenta lo strato più esterno del bulbo oculare, è composta da *sclera* e *cornea* e svolge funzione di supporto meccanico e di protezione, dà attacco ai muscoli estrinseci dell'occhio e contiene le strutture che permettono la messa a fuoco delle immagini. La *sclera* (la parte "bianca dell'occhio") ricopre la maggior parte della superficie oculare ed è formata da tessuto connettivo fibroso denso ed opaco, ricco di fibre collagene ed elastiche e, sulla superficie anteriore, definita *episclera*,

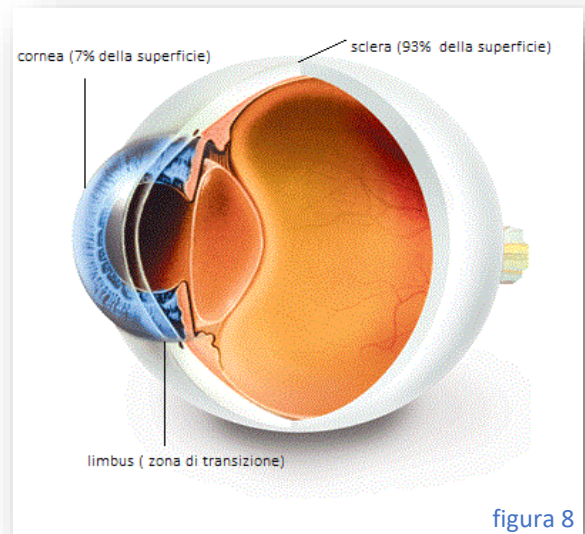


figura 8

contiene piccoli vasi sanguigni e nervi che raggiungono strutture poste negli strati sottostanti; la sclera rappresenta la struttura sulla quale si inseriscono i 6 muscoli estrinseci dell'occhio. La *cornea* è un tessuto trasparente e sottile, a forma di calotta sferica, in continuità con la sclera e separata da essa da una limitata area di transizione definita *limbus sclerocorneale*, e rappresenta la prima lente dell'occhio, attraverso la quale passa il segnale luminoso proveniente dall'esterno prima che si formi l'immagine sulla retina. Ha funzione di protezione e non è vascolarizzata, infatti le sue cellule epiteliali superficiali ricevono nutrimento ed ossigeno dalle lacrime che scorrono sulle loro superfici libere, mentre le sue cellule profonde lo ricevono dall'umore acqueo presente nella camera anteriore. La cornea è costituita da diversi strati sovrapposti, tra i quali, quello più superficiale rappresentato dall'epitelio, continua nella *coniuntiva*, una membrana mucosa altamente vascolarizzata che ricopre il bulbo oculare e la parte interna delle palpebre, con la funzione di produzione del muco che costituisce uno degli strati del film lacrimale, liquido che difende dalle infezioni e garantisce mobilità al bulbo. Nella cornea ci sono numerose terminazioni nervose libere ed è per questo che rappresenta la parte

più sensibile dell'occhio.

La **tonaca vascolare**, o uvea, è ricca di vasi sanguigni e linfatici, comprende i muscoli intrinseci dell'occhio ed è composta da *iride*, *corpo ciliare* e *coroide*.

L'*iride*, posto tra cornea e cristallino, può essere osservato dalla superficie trasparente della cornea e contiene vasi sanguigni, cellule pigmentate (la cui densità e distribuzione conferiscono un colore all'iride) e due strati di muscolatura liscia che costituiscono i muscoli intrinseci dell'occhio, *sfintere* e *dilatatore* (figura 9). Essi regolano la quantità di luce in entrata nell'occhio dilatandosi o restringendosi, sotto il controllo del sistema nervoso autonomo. Le fibre muscolari dello *sfintere* si distribuiscono concentricamente intorno alla *pupilla* (apertura centrale dell'iride) e ne provocano un restringimento (miosi) quando entra troppa luce nell'occhio; le fibre muscolari del *dilatatore* si distribuiscono radialmente intorno alla pupilla e ne provocano una dilatazione (midriasi) quando la quantità di luce che entra nell'occhio diminuisce.

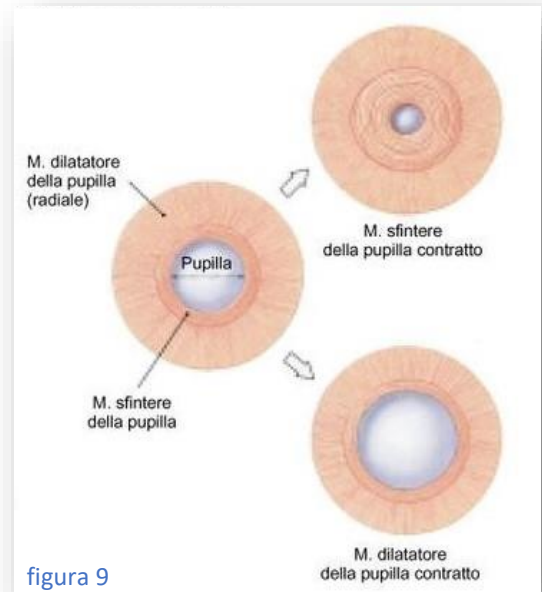


figura 9

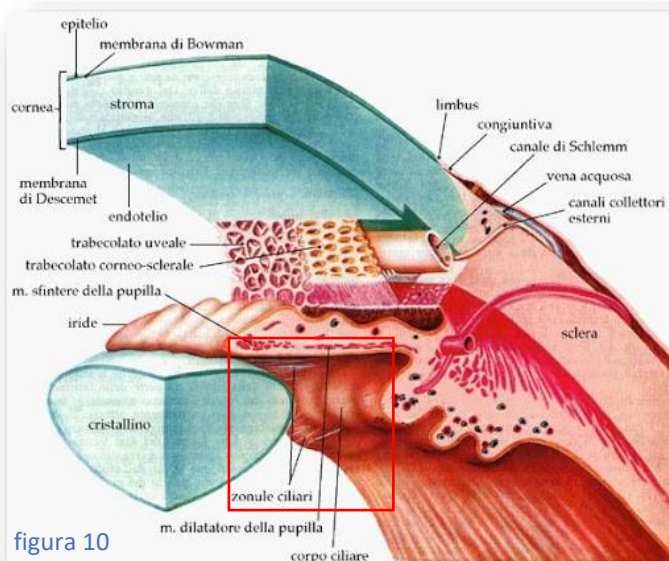


figura 10

Il corpo ciliare (figura 10, nel riquadro in rosso)

è la zona media della tonaca vascolare. È formato principalmente dal *muscolo ciliare*, rivestito da un epitelio che forma una serie di pieghe, definite *processi ciliari*, sede di inserzione dei legamenti sospensori del *cristallino* (seconda lente dell'occhio) e serve al processo di accomodazione. Questi legamenti sospensori mantengono il cristallino

in posizione posteriore all'iride e centrata

alla pupilla, in modo che, quando un fascio di luce penetra dalla pupilla, prima di giungere ai

fotorecettori posti sulla retina, attraversa anche il cristallino.

La coroide è una membrana riccamente vascolarizzata e pigmentata, che separa la tonaca fibrosa da quella nervosa. È ricoperta esternamente dalla sclera ed internamente è unita allo strato più esterno della retina, alla quale trasporta ossigeno e nutrienti attraverso la fitta rete di capillari che la costituisce. Inoltre, contiene delle cellule pigmentate, i *melanociti*, che contribuiscono a mantenere la necessaria oscurità della “camera oscura” endobulbare.

La **tonaca nervosa**, o retina, è lo strato più interno dell’occhio e si estende dal punto di entrata del nervo ottico, fino al margine pupillare dell’iride. È formata da due foglietti sovrapposti, uno esterno (strato pigmentato), che continua anche sul corpo ciliare e sull’iride, con il compito di assorbire la luce, ed uno interno (strato nervoso), che si interrompe in corrispondenza dell’ora serrata, composto dai fotorecettori, dalle cellule di sostegno, dai neuroni associati, che servono alle funzioni visive, e da vasi sanguigni, che irrorano i tessuti di rivestimento della cavità posteriore.

Il foglietto interno è definito **retina propriamente detta** (figura 11), del quale possiamo distinguere tre regioni particolari: la *papilla del nervo ottico*, corrispondente al punto dove si raccolgono le fibre nervose che si originano dalla retina e

compongono il nervo ottico; la *macula lutea*, piccola regione che si trova lateralmente al polo posteriore dell’occhio, composta da una fossetta centrale, la *fovea*, che rappresenta la zona della visione distinta, dove gli strati retinici sono assottigliati ed è presente soltanto

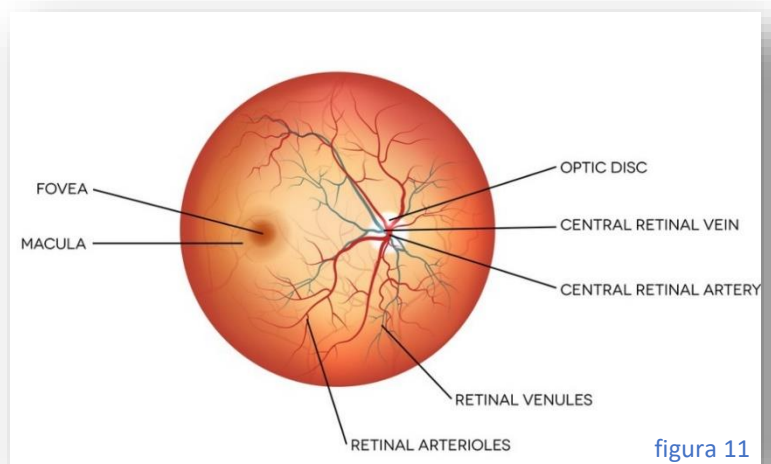
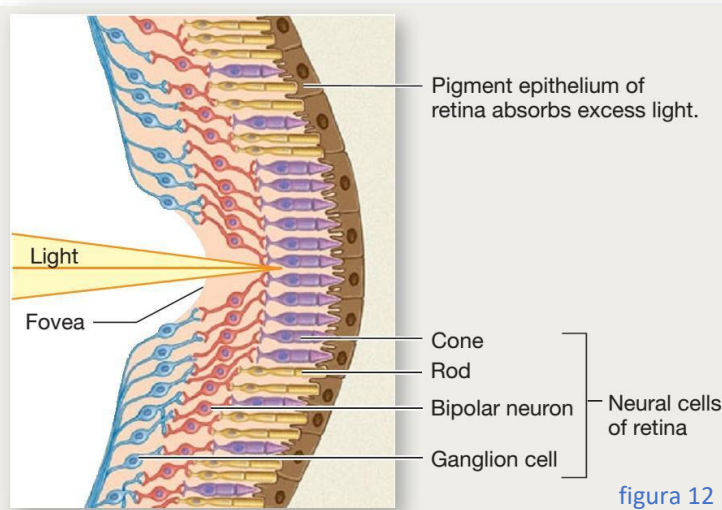


figura 11

una tipologia di fotorecettori, i coni; l’*ora serrata*, a forma di linea circolare, che rappresenta il margine anteriore della parte ottica della retina che, assottigliandosi e modificando la sua struttura, si continua nella parte ciliare.

Nello strato più esterno della retina sono presenti circa 130 milioni di **fotorecettori**, cellule recettoriali del sistema visivo deputate alla trasduzione dell’energia luminosa in potenziali elettrici, che arrivano, attraverso le vie ottiche, alle aree della visione della corteccia encefalica.

Esistono due tipi di fotorecettori: *coni* e *bastoncelli* (figura 12), ed hanno funzione eterocettiva,



cioè raccolgono informazioni dall'ambiente esterno.

I coni sono in minor quantità, circa 6 milioni, concentrati maggiormente nella regione della visione distinta, cioè la zona dove cade l'immagine dell'oggetto che stiamo osservando, la fovea. Ne distinguiamo di 3 tipologie,

corrispondenti ai 3 colori primari

rosso, verde e blu, e la loro stimolazione nelle varie combinazioni consente la percezione dei diversi colori. I coni consentono, quindi, una visione più nitida rispetto ai bastoncelli, ma hanno bisogno di un quantitativo di luce maggiore, infatti sono deputati alla visione diurna.

I bastoncelli sono in quantità maggiore, circa 125 milioni, localizzati principalmente in corrispondenza della periferia retinica. Non sono in grado di discriminare i colori, ma sono molto sensibili alla luce, infatti sono i recettori che rendono possibile la visione notturna e in ambienti poco illuminati.

I fotorecettori fanno sinapsi con le cellule bipolari, grazie a gruppi di cellule orizzontali. A loro volta, le cellule bipolari fanno sinapsi con uno strato di cellule gangliari, grazie alle cellule amacrine. Cellule orizzontali e cellule amacrine hanno la funzione di facilitare o inibire la comunicazione fra i fotorecettori e le cellule gangliari e di modificare la sensibilità della retina. Gli assoni di circa 1 milione di cellule gangliari convergono nella regione circolare della papilla del nervo ottico, definita anche *disco ottico*, proseguendo verso il diencefalo come *nervo ottico* (Il nervo cranico). Il disco ottico, essendo privo di fotorecettori e delle altre strutture retiniche, viene definito "punto cieco", poiché la luce che raggiunge quest'area non è percepibile e compare raramente nel campo visivo come una macchia bianca, compensata dai movimenti oculari involontari che mantengono l'immagine in movimento e permettono all'encefalo di colmare l'informazione mancante e di ottenere un campo visivo "completo".

La funzione proprioceettiva del sistema visivo è affidata ai **muscoli estrinseci dell'occhio** (figura 13).

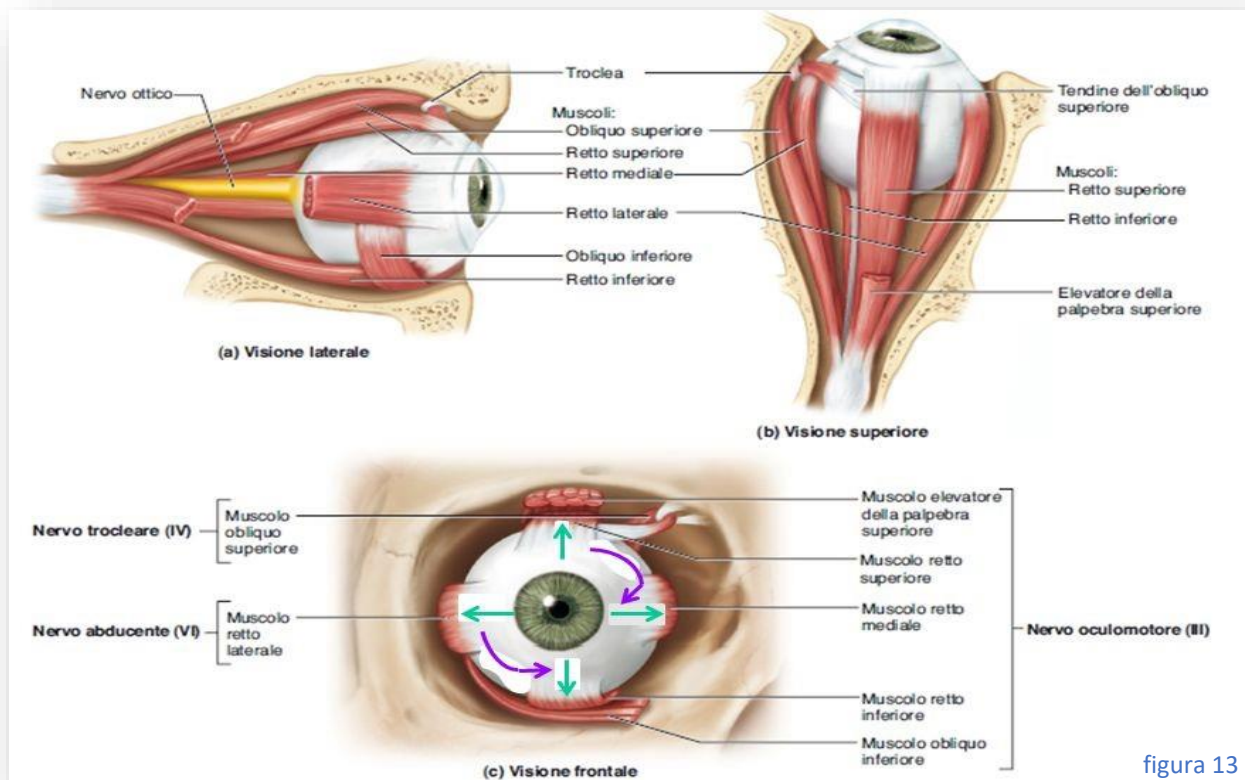


figura 13

La muscolatura estrinseca, che controlla la posizione di ciascun occhio permettendone il movimento, è composta da 6 muscoli di tipo striato: 4 muscoli retti e 2 muscoli obliqui. I 4 muscoli retti si dividono in *retto superiore*, *retto inferiore*, *retto mediale* e *retto laterale*; mentre i 2 muscoli obliqui si dividono in *obliquo superiore* ed *obliquo inferiore*. Tutti i muscoli retti e quello obliquo superiore originano da un'unica formazione tendinea posta sul fondo dell'orbita, l'anello di Zinn (figura 14), formato da tessuto connettivo-fibroso che circonda il nervo

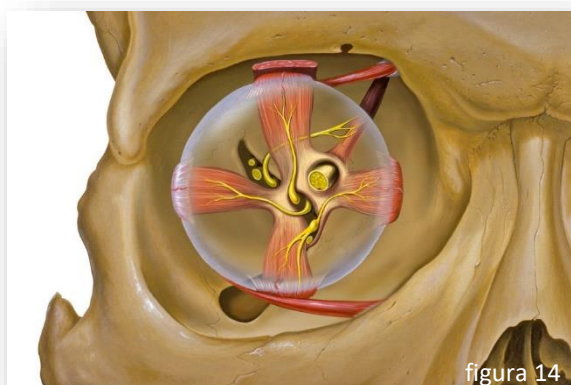


figura 14

ottico in prossimità del *canale ottico* (foro attraverso il quale passa il nervo ottico).

I muscoli retti hanno la funzione relativa al loro nome: il retto superiore permette la rotazione e l'elevazione, il retto inferiore permette la rotazione, il retto mediale permette l'adduzione (fa ruotare il bulbo verso l'interno), il retto laterale permette

l'abduzione (fa ruotare il bulbo verso l'esterno).

Il muscolo obliquo superiore è il più lungo e sottile dei muscoli oculari e, prima di inserirsi sulla sclera, attraversa un occhiello fibro-cartilagineo, la *troclea*, fissato alla fossetta dell'osso frontale, ripiegandosi poi su sé stesso e tornando indietro verso il bulbo oculare, dove termina in posizione supero-laterale sulla sclera; abbassa, ruota ed abduce il bulbo.

Il muscolo obliquo inferiore è il più corto fra i muscoli oculari e nasce sotto la fossa lacrimale, sull'osso mascellare; per la sua posizione, incrocia al di sotto il retto inferiore ed è coperto dal retto laterale, mentre a livello funzionale ruota, eleva ed abduce il bulbo.

L'innervazione dei muscoli estrinseci dell'occhio è fornita da tre paia di **nervi cranici**:

- il **nervo oculomotore** (III n.c.), il quale nucleo ha origine nel mesencefalo. È connesso agli altri nuclei dei nervi oculomotori, con i nuclei vestibolari e con il nucleo del nervo accessorio spinale (XI n.c.). Innerva il retto superiore, il retto inferiore, il retto mediale e l'obliquo inferiore;
- il **nervo trocleare** (IV n.c.), il quale nucleo ha origine nel mesencefalo ed ha le stesse connessioni del nervo oculomotore. Innerva il muscolo obliquo superiore;
- il **nervo abducente** (VI n.c.), il quale nucleo ha origine nel pavimento del IV ventricolo ed innerva il retto laterale.

Ogni modifica della tensione muscolare estrinseca dell'occhio comporta una variazione della tensione della catena muscolo-connettivale che caratterizza il *Sistema Tónico Posturale*.

Quindi, i problemi visivi sono in grado di comportare disturbi posturali e viceversa. Ad esempio, un'eccessiva tensione dei muscoli extra oculari provoca rotazioni/inclinazioni della testa al fine di ottenere una visione più nitida, con conseguente postura scorretta del capo e perdita del tono muscolare. Infatti, i muscoli estrinseci dell'occhio, oltre quelli intrinseci e quelli delle palpebre, funzionando in stretta sinergia con quelli del collo e della faccia, ad ogni movimento degli occhi inviano un input di contrazione ai muscoli della nuca e consentono alla testa di cambiare posizione per fissare l'oggetto di interesse. Il segnale verrà poi mandato ai vestiboli, che permetteranno di mantenere l'equilibrio nello spazio, attivando i muscoli di tutto il corpo.

Questo determina lo scopo principale della **relazione tra visione e postura**: assicurare un perfetto *funzionamento binoculare della percezione visiva*, in quanto la funzione dei movimenti oculari è quella di spostare e stabilizzare lo sguardo nella direzione di osservazione. Si è visto, infatti, che mantenere una postura scorretta per tanto tempo, comporta problemi alla coordinazione binoculare, al rendimento accomodativo che risulta diverso tra i due occhi, compaiono forie (deviazioni oculari) e si possono accentuare le anisometropie.

Il corretto funzionamento del sistema visivo dipende, in gran parte, dalla presenza di **visione binoculare**, cioè la capacità di fondere in un'unica percezione gli impulsi provenienti dai due occhi. Siamo capaci di percepire lo spazio fisico e di realizzare un meccanismo di percezione della tridimensionalità grazie alle informazioni che provengono dai *punti retinici corrispondenti*, recettori che si trovano nella stessa direzione spaziale sulla retina dell'uno e dell'altro occhio, e sono trasmesse ad una singola cellula della corteccia occipitale (sede della binocularità). A causa del legame tra i due occhi, la direzione visiva risultante appare come se originasse da un unico occhio posto al centro ed è, infatti, definita "ciclopica".

Quando viene fissato un punto nello spazio, le immagini di tale punto si formano sulle due fovee, che rappresentano i due punti retinici corrispondenti. Allo stesso tempo, per altri punti nello spazio, si formeranno altrettante immagini su diversi punti retinici corrispondenti. Grazie alla fusione, i punti di fissazione saranno visti singolarmente.

Il luogo dei punti oggetto le cui immagini cadono su punti retinici corrispondenti prende il nome di **oroptero** (figura 15). L'oroptero avrà forma diversa in base alla distanza di fissazione: se breve, sarà una curva con concavità verso l'osservatore; se più lunga, la curva si appiattisce, fino a diventare rettilinea alla distanza di circa 1 metro.

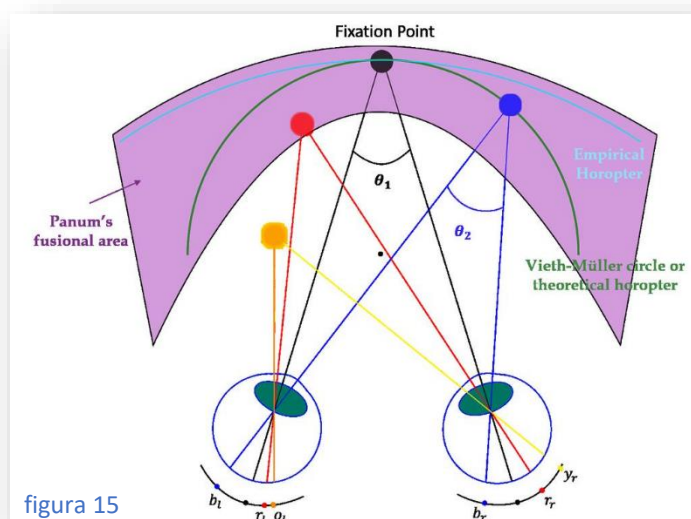


figura 15

Quando un oggetto si trova al di fuori dell'oroptero, le immagini che si formano saranno viste doppie, in quanto verranno stimolati punti retinici disparati. La diplopia determinata da oggetti posti al di fuori dell'oroptero è detta **diplopia fisiologica**: di norma non è avvertita perché alla corteccia visiva arrivano dei segnali incompatibili alla visione singola e viene ignorata, con conseguente inibizione binoculare. Però, non per tutti i punti che si trovano all'esterno dell'oroptero si ha il fenomeno della diplopia. Esiste una regione di spazio, definita **area fusionale di Panum**, che si trova intorno all'oroptero e nella quale non si presenta diplopia, nonostante vengano stimolati punti retinici disparati. L'area di Panum ha un'ampiezza variabile: è minore a livello del punto di fissazione e maggiore in periferia, a causa

dell'aumento delle dimensioni dei campi recettivi, e rappresenta la regione della visione binoculare singola.

Esistono tre gradi principali della percezione binoculare (detti anche della fusione):

- **percezione simultanea**
- **fusione**
- **stereopsi**

L'ordine delle tre capacità è significativo, in quanto senza la prima non può esserci la seconda e così via, e la consequenzialità garantisce un corretto funzionamento della binocularità.

Per percezione simultanea si intende la capacità di percepire contemporaneamente le immagini dei due occhi; ciò può comportare diplopia, annullata dalla *sovrapposizione* se le immagini cadono su due punti retinici corrispondenti. Questa capacità percettiva è sinonimo di *biocularità*. Quando, invece, c'è la sovrapposizione di due immagini differenti su aree retiniche corrispondenti, l'immagine risultante oscilla percettivamente tra le caratteristiche dell'immagine di uno e dell'altro occhio e scatta un meccanismo noto come *rivalità retinica*. Il sistema visivo risponde alla rivalità retinica non riconoscendo come validi i segnali provenienti da una data area di una delle due retine, in favore di quelli provenienti dall'area corrispondente dell'altra retina e annullando le informazioni provenienti dalla prima, utilizzando solo le informazioni provenienti dalla seconda. Questo è il fenomeno conosciuto come *soppressione*.

La fusione è caratterizzata da un duplice aspetto, motorio e sensoriale: per *fusione motoria* si intende l'attività svolta dalla muscolatura dell'occhio per posizionare le immagini dell'oggetto di interesse su due punti retinici corrispondenti al fine di ottenere visione binoculare singola, mentre per *fusione sensoriale*, si intende il processo di integrazione mentale dei segnali provenienti dai due occhi in una percezione singola e può verificarsi solo se le due immagini dell'oggetto date dai due sistemi ottici oculari sono simili.

Per stereopsi (o *visione stereoscopica*) si intende la percezione di tridimensionalità, ovvero la percezione della diversa profondità e posizione degli oggetti nello spazio, per mezzo o durante la visione binoculare. Questa capacità percettiva è dovuta dalla *disparità retinica* (figura 16): la diversa posizione dei

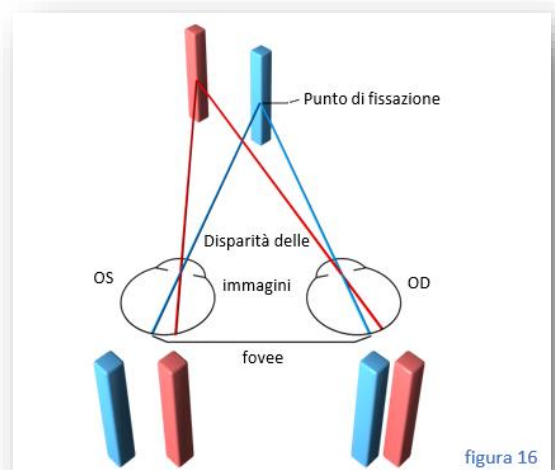


figura 16

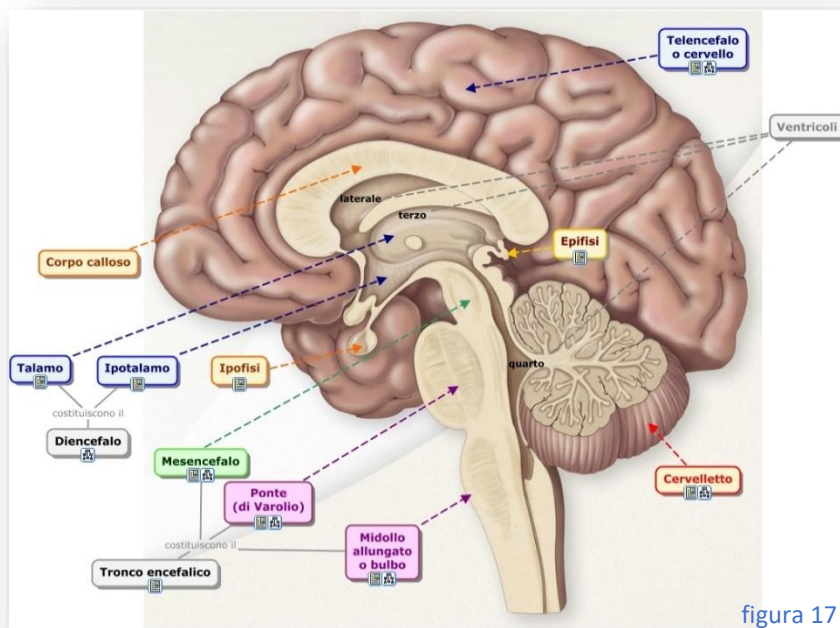
due occhi lungo l'orizzontale crea due immagini retiniche monoculari diverse dello stesso oggetto. Le due immagini retiniche, nonostante la loro differenza, vengono fuse in una e la disparità che si presenta è sfruttata dalla mente per trarre le informazioni relative alla profondità. La stereopsi, così come le altre capacità binoculari, deve essere acquisita nell'infanzia, altrimenti è persa irrimediabilmente; infatti, la sua maturazione completa è assunta intorno ai 6-8 anni.

Affinché possa manifestarsi la stereopsi, è opportuno che esistano delle condizioni visive basilari:

- *fissazione bifoveale*, cioè gli assi visivi devono convergere sulla fovea; infatti, la stereopsi è ridotta in caso di deviazioni latenti o di disparità di fissazione, oppure assente in caso di deviazione manifesta;
- *fusione*, dove la psiche deve essere in grado di unire percettivamente le due immagini;
- *sufficiente acuità visiva e spaziale* in entrambi gli occhi, poiché la qualità dell'immagine è importante per la valutazione di disparità tra le due immagini.

A livello anatomico, sappiamo che nella *corteccia occipitale* ci sono neuroni che rispondono alla stimolazione dei due occhi, cioè atti a rilevare la disparità retinica per oggetti più vicini e più lontani; mentre il *corpo calloso* (un fascio di fibre nervose che collega i due emisferi cerebrali) provvede alla connessione tra le aree retiniche non corrispondenti, dove cadono le immagini degli oggetti che sono indicatori di posizione, cioè posti avanti e dietro nello spazio. Abbiamo osservato come il sistema nervoso, il sistema vestibolare ed il sistema visivo diano individualmente segnali al nostro corpo per tenerlo in equilibrio. Questi segnali vengono poi codificati dal nostro cervello, dove convogliano le vie nervose dei diversi organi deputati alla postura e all'equilibrio e, analizzandole, possiamo valutare il livello di collaborazione tra loro.

CAPITOLO 2: AREE CEREBRALI INTERESSATE ALLA VISIONE E ALL'EQUILIBRIO



L'**encefalo** (figura 17) di un adulto contiene circa il 98% di tutto il tessuto nervoso presente nell'organismo. È composto da circa 20 miliardi di neuroni, ognuno dei quali può ricevere informazioni contemporaneamente da migliaia di sinapsi e produrre risposte

specifiche in base allo stimolo. Può essere suddiviso in quattro regioni principali: *cervello*, *diencefalo*, *cerevelletto* e *tronco encefalico*, quest'ultimo costituito da *mesencefalo*, *ponte* e *midollo allungato*. Nel tronco encefalico, la *sostanza grigia* (costituita da neuroni e cellule gliali) è circondata da tratti di *sostanza bianca* (costituita da assoni mielinici e amielinici), mentre nel cervello e nel cerevelletto la sostanza bianca è circondata da uno strato superficiale di sostanza grigia.

La sostanza grigia del tronco encefalico circonda il canale centrale del midollo spinale e i quattro *ventricoli cerebrali*, cavità dell'encefalo contenenti liquido cerebrospinale, e forma i **nuclei**, pirenofori (parte del neurone dov'è contenuto il nucleo) di forma irregolare. Gli impulsi provenienti dai centri superiori, cioè nuclei, centri e aree corticali del cervello, del cerevelletto, del diencefalo e del mesencefalo, possono modificare le attività di nuclei e centri presenti nel tronco encefalico e nel midollo spinale. I nuclei e le aree corticali dell'encefalo possono ricevere informazioni sensitive e indirizzare comandi motori agli effettori periferici *indirettamente* tramite il midollo spinale o i nervi spinali, o *direttamente* tramite i nervi cranici. Avviene, quindi, la comunicazione tra sistema nervoso centrale, sistema nervoso periferico, organi ed apparati periferici attraverso vie che sono in grado di trasmettere informazioni sensitive e motorie tra la periferia e i centri superiori dell'encefalo, e viceversa. Ogni via consiste in una serie di fasci e di

nuclei associati e possono essere: *ascendenti*, dal midollo spinale all'encefalo e sono le vie di tipo sensitivo; *discendenti*, dall'encefalo al midollo spinale e sono le vie di tipo motorio.

Per la sua conformazione e per le numerose innervazioni presenti, ogni parte dell'encefalo è in comunicazione con l'altra, riuscendo a codificare un segnale ed attivando più aree per una determinata risposta. Sebbene ci sia questa continua collaborazione tra le parti, si analizzano in particolare le aree che collaborano per dare la risposta visiva e posturale, e sono il diencefalo, il mesencefalo ed il cervelletto.

Data la sua importanza come centro di elaborazione degli stimoli provenienti dai diversi organi di senso e di traduzione in risposta di tali segnali, si parlerà anche del *cervello* e verrà analizzato prima di tutti.

2.1 IL CERVELLO

Il **cervello** (figura 18) è la porzione più voluminosa dell'encefalo ed è coinvolta nell'elaborazione di informazioni sensitive e motorie somatiche.

La sua superficie è ricoperta dalla corteccia cerebrale (*sostanza grigia*), ricca di cellule nervose ed è la

componente principale del

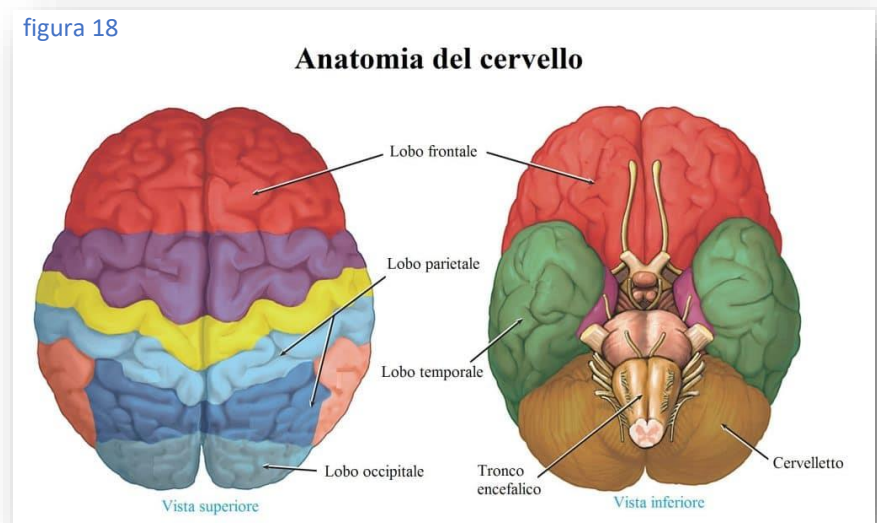
sistema nervoso centrale. Al di sotto della corteccia cerebrale troviamo gli assoni,

prolungamenti dei neuroni che costituiscono, invece, la "*sostanza bianca*". La sua struttura è caratterizzata da una forma a pieghe.

Il cervello è costituito da due **emisferi cerebrali**, destro e sinistro, separati da una profonda scissura longitudinale ed uniti dal *corpo calloso*. Ogni emisfero riceve informazioni sensitive e genera comandi motori destinati alla metà opposta del corpo, quindi l'emisfero sinistro controlla la parte destra e l'emisfero destro controlla la parte sinistra.

Inoltre, ogni emisfero può essere suddiviso in *lobi*, che prendono il nome dall'osso cranico

figura 18



sovrastante: *lobo frontale*, *lobo parietale*, *lobo temporale* e *lobo occipitale*. In corrispondenza dei vari lobi, abbiamo le aree motorie e sensitive della corteccia cerebrale che possiamo suddividere in base alla loro funzione: nella zona del **lobo frontale**, abbiamo la *corteccia motoria primaria*, che controlla la muscolatura volontaria; nella zona del **lobo parietale**, abbiamo la *corteccia sensitiva primaria*, che raccoglie le informazioni sensitive cosce come il tatto, il gusto, la temperatura e il dolore; nella zona del **lobo occipitale** abbiamo la *corteccia visiva*, sede della percezione conscia degli stimoli visivi e della binocularità; nella zona del **lobo temporale**, abbiamo la *corteccia uditiva ed olfattiva*, sede della percezione conscia degli stimoli uditivi ed olfattivi. Le regioni sensitive e motorie della corteccia cerebrale, sono collegate alle aree associative limitrofe, impegnate nell'interpretazione delle informazioni sensitive in arrivo e nella preparazione e nel coordinamento dei comandi motori di risposta. Le aree associative trasportano le informazioni ai centri integrativi, dove queste vengono elaborate e tradotte in attività motorie ed analitiche complesse.

All'interno degli emisferi cerebrali sono presenti i **nuclei cerebrali** (definiti anche *nuclei della base*). Essi sono coinvolti nel controllo inconscio del tono muscolare e nella coordinazione dei movimenti acquisiti: quando un movimento sta per iniziare, i nuclei cerebrali ne assicurano il ritmo e lo schema generale. Tra questi, abbiamo il *claustr*, nucleo coinvolto nell'elaborazione visiva inconscia.

2.2 IL DIENCEFALO

Il diencefalo (figura 19, nel riquadro rosso) collega i due emisferi cerebrali al tronco encefalico. È composto da: *epitalamo*, *talamo destro* e *sinistro* e dall'*ipotalamo*. L'**epitalamo** costituisce il tetto del terzo ventricolo cerebrale. Anteriormente, comprende un'area del *plesso corioideo* e, posteriormente, contiene l'epifisi, una ghiandola che secerne l'ormone *melatonina*, importante regolatore dei cicli circadiani.

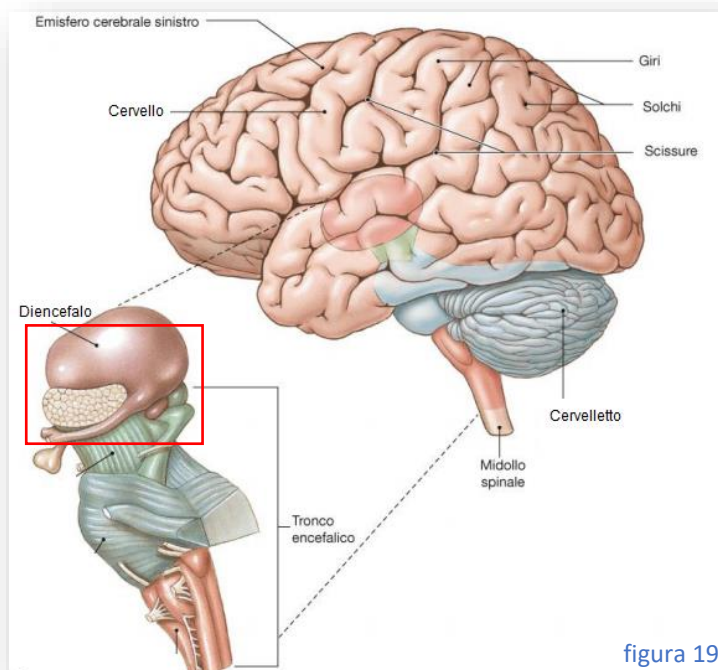


figura 19

Il **talamo** è la componente del diencefalo con maggiore tessuto nervoso. Esistono due talami, quello destro e quello sinistro, hanno forma ovoidale e circondano il terzo ventricolo. I talami sono costituiti da un notevole numero di nuclei e sistemi di fibre che si collegano alla corteccia cerebrale e al tronco encefalico in seguito all'elaborazione dei segnali provenienti dal midollo spinale e dai nervi cranici (tranne quello olfattivo), infatti rappresentano un importante centro di controllo per le informazioni sensitive e motorie. Possiamo individuare 5 gruppi di nuclei nervosi (figura 20), denominati *gruppo posteriore*, *gruppo anteriore*, *gruppo mediale*, *gruppo laterale* e *gruppo ventrale*, ognuno dei quali trasmette le informazioni sensitive verso i nuclei cerebrali e la corteccia cerebrale. Di particolare interesse sono i nuclei posteriori, costituiti dal

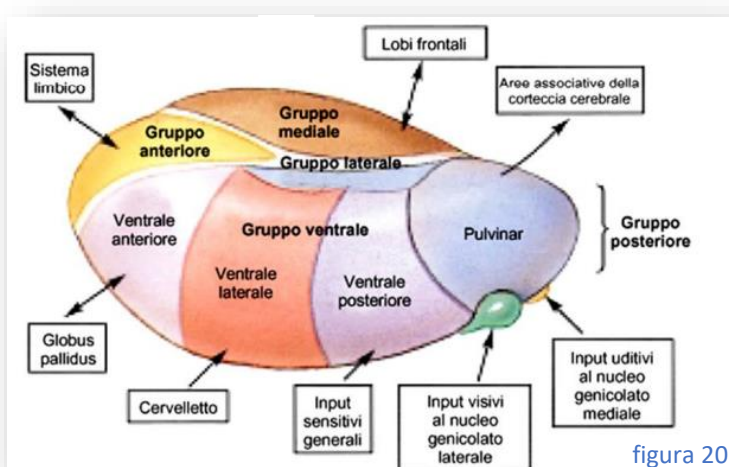


figura 20

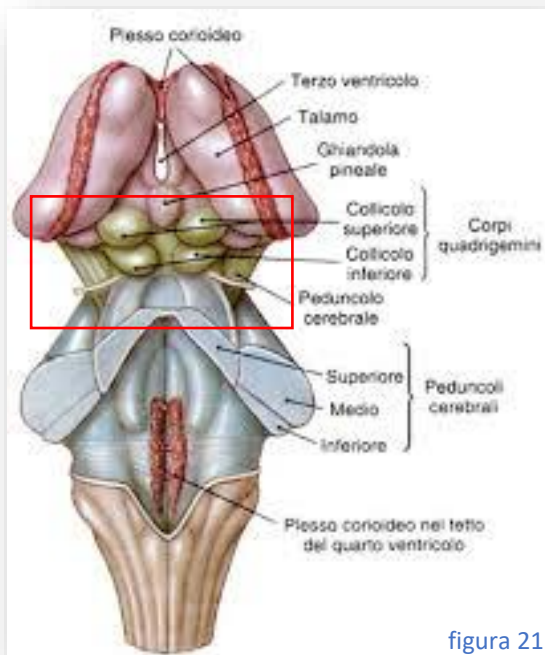
pulvinar, che integra le

informazioni sensitive da portare alle aree associative della corteccia cerebrale, e dai *nuclei genicolati*, divisi in *nucleo genicolato laterale* e *nucleo genicolato mediale*. I nuclei genicolati rappresentano una delle aree dove si integrano il

senso della visione e quello

dell'equilibrio: il **nucleo genicolato laterale** di ogni talamo riceve informazioni visive dalle fibre dei nervi ottici a livello del *chiasma ottico*, zona dove si assiste ad un parziale incrocio (*decussazione*) tra le fibre nervose dei nervi ottici, infatti metà delle fibre procede verso il nucleo genicolato omolaterale, mentre l'altra metà si incrocia per raggiungere il nucleo genicolato laterale opposto; le fibre efferenti arrivano alla corteccia visiva e discendono verso il mesencefalo. Il **nucleo genicolato mediale** di ogni talamo trasmette le informazioni uditive dai recettori specializzati dell'orecchio interno (sede dell'equilibrio) alla corteccia uditiva. L'**ipotalamo** forma il pavimento del terzo ventricolo cerebrale. È delimitato posteriormente dai *corpi mammillari*, anteriormente dal chiasma ottico ed inferiormente dall'*ipofisi*, ghiandola endocrina che secerne ormoni. L'*ipotalamo* contiene un gran numero di importanti centri integrativi e di controllo, che ricevono continuamente informazioni sensitive dal cervello, dal tronco encefalico e dal midollo spinale.

2.3 IL MESENCEFALO



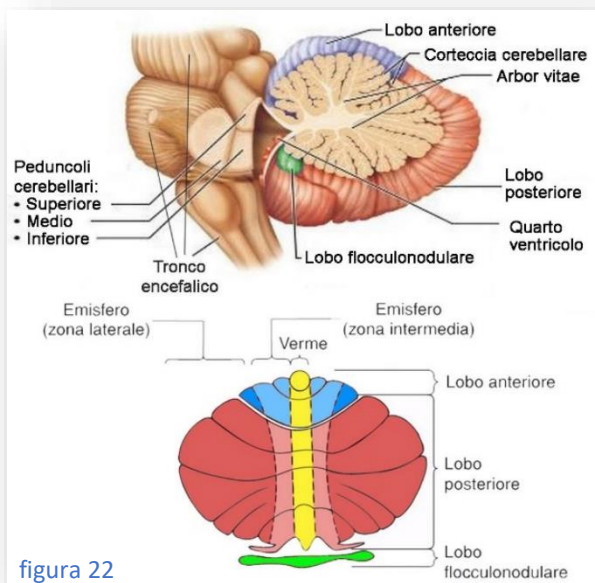
Il **mesencefalo** (figura 21, nel riquadro rosso) si trova tra il diencefalo ed il midollo spinale e rappresenta la porzione superiore del tronco encefalico. È la sede dove sono contenuti i nuclei che elaborano le informazioni visive e uditive e generano risposte riflesse a tali stimoli.

La superficie del mesencefalo, detta tetto, contiene due paia di nuclei sensitivi, denominati *collicoli superiori* e *collicoli inferiori*: sono stazioni intermedie delle vie ottiche e uditive. Ogni collicolo superiore riceve

impulsi visivi dal corpo genicolato laterale del talamo dello stesso lato e invia comandi motori che controllano i movimenti involontari degli occhi, della testa e del collo, mentre i collicoli inferiori ricevono informazioni uditive dai nuclei bulbari, e tali informazioni possono essere trasmesse ai corpi genicolati mediali dello stesso lato. I collicoli aiutano a decussare diverse fibre del nervo ottico e, a causa della loro posizione controlaterale, a formare il chiasma ottico. Su ciascuna metà del mesencefalo si trova un paio di nuclei, il nucleo rosso e la substantia nigra, mentre sulla superficie ventrale sono presenti i peduncoli cerebrali, fasci di fibre nervose contenenti *fibre ascendenti*, che fanno sinapsi nei nuclei del talamo e *fibre discendenti*, che trasportano comandi motori volontari provenienti dalla corteccia motoria primaria di ciascun emisfero cerebrale.

Inoltre, il mesencefalo ospita i nuclei motori di due paia di nervi cranici: il **nervo oculomotore** (III N) ed il **nervo trocleare** (IV N). Il *nervo oculomotore* innerva tutti i muscoli estrinseci dell'occhio, tranne il retto laterale e l'obliquo superiore, ed emerge dalla superficie ventrale del mesencefalo. Trasporta fibre destinate ai neuroni del ganglio ciliare, i quali controllano i muscoli intrinseci dell'occhio nella miosi e nella midriasi pupillare. Il *nervo trocleare* innerva il muscolo obliquo superiore dell'occhio ed emerge dalla porzione ventro-laterale del mesencefalo.

2.4 IL CERVELLETTO



Il cervelletto, dal latino *cerebellum* (“piccolo cervello”) (figura 22), è una struttura localizzata nella parte posteriore dell’encefalo, sotto gli emisferi cerebrali e sopra la parte iniziale del midollo spinale, e rappresenta una porzione molto importante del sistema nervoso centrale. Presenta due **emisferi cerebellari**, ciascuno con una superficie costituita da una corteccia nervosa (*sostanza grigia*) ampiamente convoluta. Ogni emisfero consiste di due lobi, uno *anteriore* ed uno

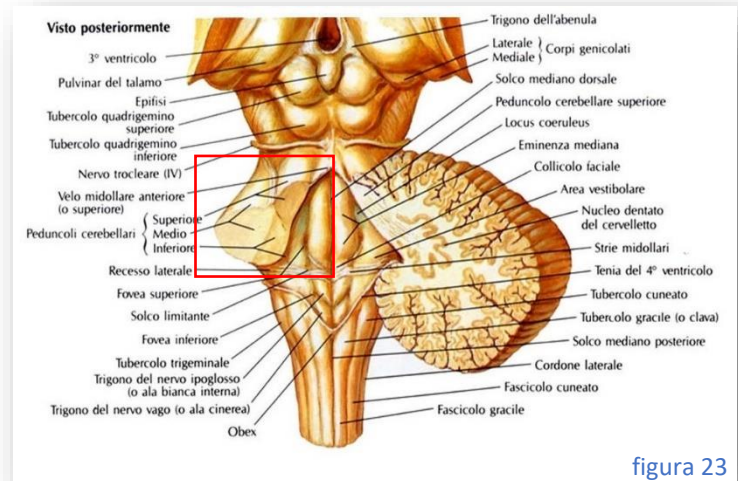
posteriore, separati dalla *fessura primaria*, e da un lobo *flocculo-nodulare* presente nella parte antero-inferiore del cervelletto. Nella zona mediale, i due emisferi sono divisi da una sottile striscia di tessuto corticale, detta *verme*.

I lobi anteriori sono coinvolti nella programmazione, nell’esecuzione e nella coordinazione dei movimenti degli arti e del tronco, mentre il lobo flocculo-nodulare è importante nel mantenimento dell’equilibrio e nel controllo dei movimenti dell’occhio.

La corteccia cerebellare (sostanza grigia) è suddivisa in tre strati e controlla e coordina i movimenti involontari delle varie parti del corpo. All’interno della sostanza grigia troviamo la sostanza bianca, composta dal *corpo midollare*. All’interno del corpo midollare, troviamo i *nuclei cerebellari*, ognuno appartenente a specifiche aree funzionali: il nucleo dentato, appartenente al *corticocerebello*, centro regolare dei movimenti volontari e automatici; il nucleo emboliforme ed il nucleo globoso, appartenenti allo *spinocerebello*, area che regola il tono muscolare e la postura; il nucleo del tetto, appartenente al *vestibolocerebello*, area connessa ai nuclei vestibolari dell’orecchio interno, responsabili dell’equilibrio e dei movimenti coordinati occhi-testa-collo.

I tratti che connettono il cervelletto con il tronco encefalico, il cervello e il midollo spinale, lasciano gli emisferi cerebellari attraverso i **peduncoli cerebellari superiori, medi ed inferiori**

(figura 23, nel riquadro rosso). I peduncoli cerebellari superiori connettono il cervelletto con i nuclei presenti nel mesencefalo, nel diencefalo e nel cervello; i peduncoli cerebellari medi contengono fibre trasverse che trasmettono informazioni dal cervelletto al ponte; i peduncoli cerebellari inferiori permettono la comunicazione tra il cervelletto e i



nuclei del midollo allungato e trasportano informazioni ascendenti e discendenti al midollo spinale. Il cervelletto controlla le sensazioni propriocettive (**posizione**), le **informazioni visive** provenienti dagli occhi e le sensazioni vestibolari (**equilibrio**) dall'orecchio interno nei momenti precedenti all'inizio del movimento. Conserva il ricordo dei movimenti acquisiti, permettendo la programmazione e la regolazione dei movimenti volontari ed involontari. Ogni movimento volontario inizia con l'attivazione di molte più unità motorie di quante ne siano richieste e la capacità del cervelletto è quella di fornire l'inibizione necessaria per ridurre al minimo i comandi motori. Regola, quindi, l'equilibrio e la postura, attraverso modificazioni del tono e della posizione muscolare, modificando l'attività del nucleo rosso (presente nel mesencefalo). Per quanto riguarda le funzioni visive, il cervelletto raccoglie le informazioni provenienti dai collicoli superiori del mesencefalo. Un problema visivo che può nascere a causa di una lesione o di una patologia a livello cerebellare è il *nistagmo*, un movimento rapido e ripetuto del bulbo oculare dovuto a spasmi muscolari.

Abbiamo osservato, quindi, come varie parti dell'encefalo collaborino tra di loro per il corretto funzionamento del nostro Sistema Tónico Posturale. Quando giriamo più volte su noi stessi con gli occhi aperti ed appena proviamo a fermarci perdiamo l'equilibrio e cadiamo, quando siamo su una barca ed abbiamo la sensazione di vomito che comunemente chiamiamo "mal di mare", quando proviamo a fare lo stesso movimento che facciamo ad occhi aperti, ma con gli occhi chiusi l'equilibrio è precario; sono tutte sensazioni ed azioni che svolgiamo ogni giorno e che sono la prova pratica di come il nostro sistema visivo e vestibolare siano perennemente in collaborazione tra loro.

CAPITOLO 3: ANALISI SPERIMENTALE

Per l'analisi sperimentale, si sono analizzate persone con difetti refrattivi corretti (ametropi) e persone che non necessitano di correzione (emmetropi), attraverso esami che mettono in relazione l'equilibrio con la visione, per osservare se ci siano differenze tra le due condizioni. Tra novembre 2019 e gennaio 2020, su un campione di 20 persone (13 che presentano deficit visivi e 7 che non ne presentano), tra i 25 e i 35 anni e ambosessi, è stato effettuato il **test di Romberg**, test che si esegue in posizione statica, ad occhi chiusi e ad occhi aperti e serve per osservare perdita di equilibrio ed atassia cerebellare (progressiva perdita della coordinazione muscolare a danno del cervelletto). Il test è stato effettuato in *quattro condizioni differenti*, seguendo uno studio condotto in America nel 2013 ⁽¹⁾:

- 1) ad occhi aperti, su una superficie solida;
- 2) ad occhi chiusi, su una superficie solida;
- 3) ad occhi aperti, su una superficie instabile;
- 4) ad occhi chiusi, su una superficie instabile.

L'esaminato deve essere in posizione eretta, a piedi uniti e con le braccia piegate in vita, tenendo i gomiti per le mani (figura 24).

Procedendo nell'ordine stabilito, ad ogni livello il test diventa più complicato e si inibiscono man mano i vari sistemi che contribuiscono all'equilibrio. Il test non risulterà valido se l'esaminato compie dei movimenti per mantenere la posizione eretta, oppure se apre gli occhi durante il test ad occhi chiusi.



figura 24

I test sono stati realizzati presso il laboratorio di Optometria

dell'Università di Napoli "Federico II". Per la superficie stabile è stato utilizzato il pavimento, mentre quella instabile è stata riprodotta con acqua e sapone sullo stesso pavimento.

Nella condizione **1)**, l'esaminato utilizza tutti gli input sensoriali che contribuiscono all'equilibrio; nella condizione **2)**, c'è il contributo del sistema vestibolare e propriocettivo, annullando lo stimolo visivo; nella condizione **3)**, compiendo il test su una superficie instabile, vengono ridotti gli input del sistema propriocettivo e l'equilibrio è garantito solo dal sistema visivo e vestibolare; nella condizione **4)**, annullando anche lo stimolo visivo, l'esaminato deve tenersi in equilibrio solo grazie al suo sistema vestibolare.

Ogni test ha una durata dai 15 ai 30 secondi. Per i test sulla superficie stabile, basta che

⁽¹⁾ (The NHANES balance testing <https://jamanetwork.com/journals/jamaophthalmology/fullarticle/1695904?resultClick=1>)

l'esaminato riesca a tenere la posizione per almeno 15 secondi, mentre per quelli sulla superficie instabile ne occorrono 30. Nel caso in cui la prima prova di un test sia andata male, se ne ripete una seconda. Nell'esecuzione del test ad occhi aperti, l'esaminato guarda un punto fisso, come una targhetta o un disegno sulla parete, in modo da avere un riferimento stabile. Quando, invece, vengono effettuati i test ad occhi chiusi, teniamo come riferimento la targhetta o il disegno per osservare di quanto l'esaminato si sposti dalla posizione di origine. Il conteggio è fatto a mente, senza distogliere lo sguardo dall'esaminato, per osservarne i possibili movimenti od oscillazioni. Nello studio effettuato in America, sono state prese in considerazione persone dai 40 anni in su ed è stato effettuato un controllo per una possibile neuropatia periferica, disturbo funzionale a livello del sistema nervoso periferico. Poiché non è di nostra competenza e poiché la presenza della neuropatia periferica è maggiormente presente in età adulta, i test sono stati effettuati su persone più giovani, considerando solo controlli dell'acuità visiva e dell'equilibrio.

Dopo un'anamnesi sullo stato di salute degli esaminati, è stato effettuato un controllo *dell'acuità visiva*, utilizzando l'autorefrattometro come punto di partenza, per procedere poi all'esame con forottero e ottotipo. Inoltre, è stato effettuato il *cover test* per controllare possibili forie. Tra le 13 persone con difetti refrattivi, sono state riscontrate 7 con base ipermetropica, di cui 3 esoforiche, e 6 con base miopica, di cui 2 exoforiche. La correzione era sufficiente in tutti i casi.

Test 1): occhi aperti, superficie stabile

Il test è stato completato da tutti gli esaminati. I soggetti con ametropie, in particolare quelli che presentano exoforia ed esoforia, sono stati leggermente meno stabili, ma hanno portato a compimento il test della durata di 15 secondi.

Test 2): occhi chiusi, superficiale stabile

Il test è stato completato da quasi tutti gli esaminati. Non hanno completato il test 1 emmetrope e 2 ipermetropi con esoforia.

Test 3): occhi aperti, superficie instabile

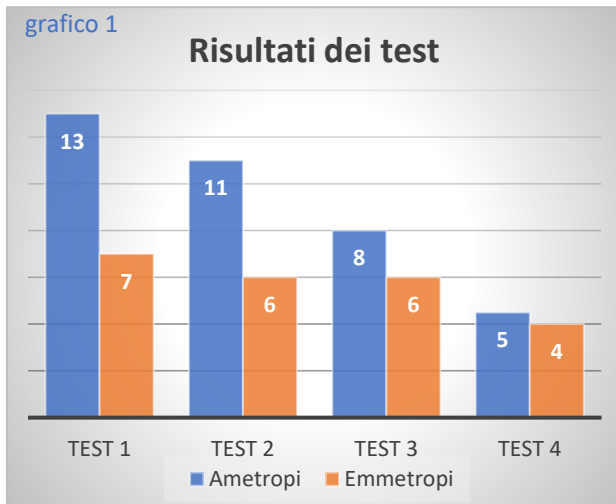
Il test non è stato completato da tutti gli esaminati. I 6 emmetropi rimasti, sono riusciti a completarlo, mentre 1 ipermetrope, 1 ipermetrope con esoforia ed 1 miope con exoforia non sono riusciti a completarlo.

Test 4): occhi chiusi, superficie instabile

Il test non è stato completato da tutti gli esaminati. 2 emmetropi, 1 miope, 1 miope con exoforia ed 1 ipermetrope non sono riusciti a completarlo.

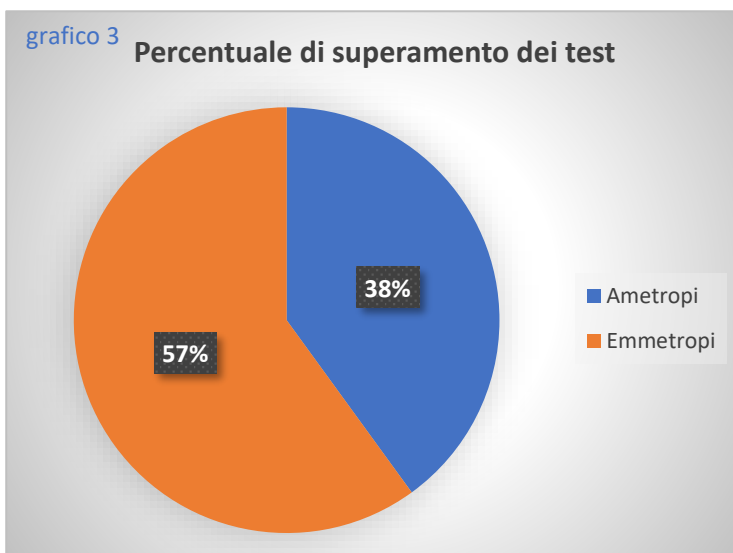
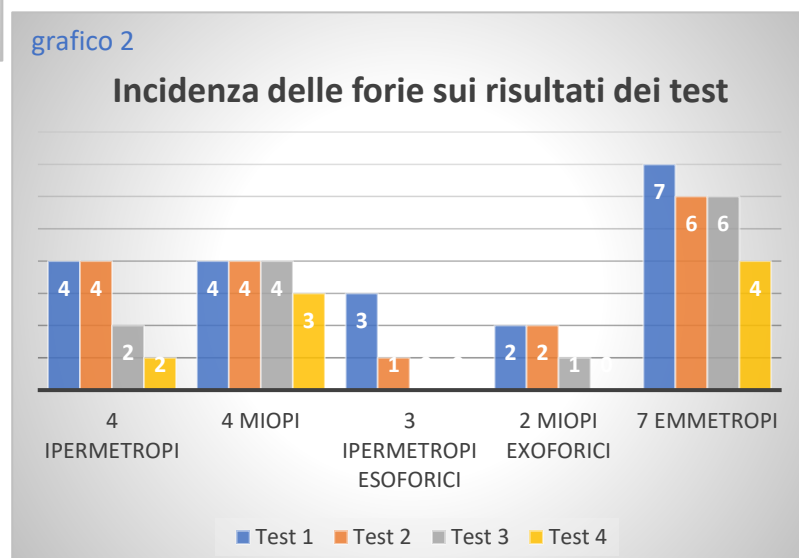
A differenza dello studio svolto in America, oltre al campionario minore di persone, sono state

valutate le differenze su un range di età più basso ed è stato coinvolto nell'indagine anche il contributo di eventuali **forie**. Le forie rappresentano un disallineamento degli assi visivi nell'osservare un oggetto, rilevabile solo in assenza di fusione; infatti, tale tendenza alla deviazione è annullata, durante la visione binoculare, dalla *fusione motoria* e gli occhi del soggetto appaiono "normali".



Dal [grafico 1](#), osserviamo tra ametropi ed emmetropi la riuscita dei vari test. Notiamo che per gli emmetropi c'è una certa costanza ed una perdita minore, mentre per gli ametropi la perdita risulta maggiore.

Dal [grafico 2](#), possiamo osservare come i soggetti con deviazioni oculari abbiano avuto maggiore difficoltà a completare i test, in particolare gli ipermetropi esoforici, che non sono riusciti ad effettuare gli ultimi due test.



Il [grafico 3](#) mostra con quale percentuale sono stati superati tutti i test: l'ultimo test sono riusciti a superarlo 5 ametropi, a fronte dei 13 iniziali, e 4 emmetropi, a fronte di 7 iniziali. Quindi, c'è una percentuale maggiore di **emmetropi (57%)** rispetto agli **ametropi (38%)** che è riuscita a completare tutti i test.

CAPITOLO 4: ANALISI DEI DATI

Dai dati raccolti nell'analisi sperimentale, i risultati non si sono discostati da quelli dello studio al quale si è fatto riferimento. Nell'ultimo test, quello su superficie instabile ad occhi chiusi, c'è stato un progressivo fallimento associato alle persone ametropi, rispetto a quelle emmetropi. Quindi, un peggior rendimento visivo causato da un'ametropia è associato anche ad un peggior equilibrio vestibolare, particolare che, oltre a dimostrare ulteriormente la collaborazione che esiste tra il sistema vestibolare e quello visivo, conferma quanto si è voluto dimostrare con l'analisi effettuata. Quello che si credeva prima di effettuare lo studio condotto in America era che, effettuando l'ultimo test, quindi annullando il contributo visivo oltre quello propriocettivo, per gli ametropi non ci sarebbe stata alcuna differenza con gli emmetropi. Questo perché, chiudendo gli occhi, si aspettavano che venisse neutralizzato l'effetto della diminuzione della vista sull'equilibrio. Invece, è accaduto l'esatto contrario.

I motivi per i quali un deficit visivo contribuisca all'equilibrio posturale anche ad occhi chiusi è da associare, in prima ipotesi, al *riflesso vestibolo-oculare (VOR)*. Il VOR percepisce i movimenti della testa e genera movimenti oculari uguali ed opposti per mantenere la stabilità dell'immagine sulla fovea retinica. Il sistema visivo fornisce un feedback continuo su qualsiasi immagine arrivi sulla retina e sulla necessità di ricalibrare continuamente il VOR. Se l'input visivo è ridotto a causa di un'ametropia, potrebbe facilmente indebolirsi questo ciclo di feedback e portare ad un VOR non compensatorio, con conseguente disfunzione dell'equilibrio. Così, una visione non ottimale influenzerebbe l'equilibrio anche ad occhi chiusi, come è stato dimostrato dai test effettuati.

In seconda ipotesi, ci sono degli studi che hanno dimostrato che persone con deficit visivi sono meno inclini a svolgere attività fisica, che sappiamo essere benefica per l'equilibrio posturale e per la corretta funzione del nostro sistema vestibolare. Potrebbe essere, quindi, una delle cause che influenza l'equilibrio, in particolare tra le persone che presentano deficit visivi.

Inoltre, è stato controllato quale fosse il contributo di eventuali forie. Si parla di *esoforia* quando gli occhi tendono a convergere, ruotando verso l'interno, mentre si parla di *exoforia* quando gli occhi tendono a divergere, ruotando verso l'esterno. Le deviazioni orizzontali (esoforia ed exoforia) sono molto comuni e di maggiore interesse clinico, in quanto legate all'attività di *accomodazione*, processo che permette all'occhio di creare immagini a fuoco sulla retina a distanze diverse grazie all'aumento ed alla riduzione della curvatura del cristallino, attraverso la contrazione del corpo ciliare. Le cause dell'insorgenza di forie sono: *refrattive*, cioè le varie

ametropie e l'attività accomodativa legate ad esse; *innervative*, cioè anomalie nella trasmissione o nella percezione visiva ed anomalie nell'innervazione motoria; *anatomiche*, cioè una variazione nella struttura ossea dell'orbita e nella posizione dei muscoli oculari.

Quindi, una variazione della tensione dei muscoli oculari a causa di forie, può comportare problemi a livello posturale, e quindi di equilibrio, com'è stato riscontrato dall'analisi sperimentale.

CONCLUSIONI

Attraverso l'analisi dei vari organi che compongono il Sistema Tonico Posturale, si è constatato il livello ampio di collaborazione che c'è tra essi, al fine di garantire una corretta percezione dello spazio intorno a noi. Deficit visivi possono causare squilibri a livello posturale e viceversa.

Nel caso in cui il problema visivo è primario rispetto a quello posturale, il trattamento prioritario è una riabilitazione visiva, oppure una correzione con occhiali o lenti a contatto, mentre, se il difetto visivo è derivato da un problema posturale, la rieducazione visiva e la correzione del deficit refrattivo non saranno risolutivi, in quanto secondari ad un programma di rieducazione posturale. Per far fronte a questo tipo di problematiche, è necessario che gli specialisti dei settori collaborino tra di loro, in modo da implementare un piano terapeutico adatto alla risoluzione del disagio percepito.

Inoltre, nell'analisi sperimentale, sono state osservate le differenze di equilibrio tra soggetti emmetropi e soggetti ametropi. Un dato interessante che è pervenuto grazie allo studio delle forie degli esaminati, è che gli esoforici con base ipermetropica hanno più difficoltà degli exoforici con base miopica.

Molto probabilmente, la causa è da ricercare nel difetto refrattivo: è possibile che i miopi, abituati a sviluppare una vista "corta", abbiano maggiore stabilità rispetto agli ipermetropi, che hanno, invece, maggiore difficoltà nella vista da vicino. Infatti, in uno studio effettuato da Rosner e Gruber nel 1985, gran parte dei soggetti ipermetropi presentavano minori abilità visuoperceptive.

SITOGRAFIA:

<http://cenavest.altervista.org/pdfrelazioni/Giulianova/Bellocci - Anatomofisiologia dell apparato vestibolare.pdf>

<http://www.giovannichetta.it/vestibolo.html>

http://www.unife.it/medicina/scienzemotorie/minisiti-LM/copy_of discipline-biomediche-del-movimento/modulo-di-neuroanatomia-applicata-allattivitamotoria/Lezione%205 %20Apparato%20vestibolare%20e%20collegamenti%20funzionali.pdf

<http://www.dbt.univr.it/documenti/OccorrenzaIns/matdid/matdid200810.pdf>

https://www.unmedicopertutti.it/sistema_vestibolare.html

<https://www.fisioterapiarubiera.com/apparato-vestibolare-canal-semicirculari/>

<https://www.paginemediche.it/medicina-e-prevenzione/esami/prove-vestibolari>

<https://www.tesionline.it/appunti/fondamenti-anatomofisiologici-dell-attivita-psichica/sistema-vestibolare/1049/40>

<https://www.neuropsicomotricista.it/argomenti/734-tesi-di-laurea/disturbi-visivi-associati-alle-pci-ed-intervento-riabilitativo-di-tipo-neuropsicomotorio/4291-anatomofisiologia-del-sistema-visivo.html>

<https://www.doveecomemicuro.it/notizie/aggiornamenti/cervello>

<https://www.my-personaltrainer.it/salute-benessere/mesencefalo.html>

<https://www.inran.it/mesencefalo/26371>

<https://www.humanitas.it/enciclopedia/anatomia/sistema-nervoso/sistema-nervoso-centrale/cervelletto>

<http://www.morfovet.it/Merighi/Corteccia%20Cerebellare.html>

<http://www.giovannichetta.it/vista.html>

BIBLIOGRAFIA:

“Anatomia umana” (2008) di F. H. Martini, M. J. Timmons, R. B. Tallitsch – EdiSES

“Manuale di optometria e contattologia – seconda edizione” (2003) di Rossetti, Gheller – Zanichelli

“Optica Visuale” (2012) di F. Zeri, A. Rossetti, A. Fossetti, A. Calossi – SEU Roma

“Visione e Postura” (2010) di Casini, Esente, Panzera, Saggini, Sarti - Fabiano Editore

“Occhio, cervello e visione” (1993) di David Hubel – Zanichelli Editore

“Ortottica teorica e pratica” (1986) di Bredemeyer, Bullock – Piccin

RINGRAZIAMENTI

La fine di un percorso porta con sé tutte le emozioni vissute, le persone incontrate, le conoscenze acquisite. Quando si chiude un “cerchio”, si apre la porta dei ricordi ed è quella che ho sempre immaginato di varcare nello scrivere i ringraziamenti della mia tesi di laurea.

Il mio viaggio universitario è stato abbastanza lungo perché ho sempre desiderato lavorare per me stessa e per non gravare sulle spalle dei miei genitori, e sono immensamente felice ed orgogliosa di avercela fatta. Ogni persona che è passata nella mia vita, mi ha reso quella che sono oggi. Ogni persona che è rimasta, desidero ringraziarla, perché la presenza, l’amore e l’amicizia non sono mai scontate.

Prima di tutti, ringrazio il mio relatore, il prof. Michele Gagliardi. Grazie per la pazienza e la disponibilità avuta nei miei confronti in tutti questi anni e, ancor di più, nel periodo di tesi. È stato per me un professore ed un padre, presente e sempre pronto ad aiutarmi, e questo non è da tutti, né per tutti.

Ringrazio mio nonno, perché, sebbene non sia più qui accanto a me da molti anni, mi ha aiutato a sostenere i miei studi. Sono sicura che, semmai dovessi essere ancora in giro da qualche parte, tu sia fiero di me e, spero, anche della donna che sono diventata. Grazie per l’amore immenso che mi hai donato. Questa giornata la dedico a te, per sempre.

Ringrazio i miei genitori, per essere semplicemente quello che sono. Se avessi avuto la possibilità di sceglierli, non sarei stata capace di trovare qualcuno migliore di loro. Mi sostengono da sempre, in tutto quello che faccio, credono in me come nessuno mai al mondo. Ad ogni esame che non andava bene, c’era un “non ti preoccupare, la prossima volta andrà meglio” e, ad ogni esame superato, con qualsiasi voto, un “bravissima”. Sono la figlia più fortunata del mondo, perché grazie a voi non mi manca nulla. Vi amo e non dimenticatelo mai.

Ringrazio mio fratello, senza il quale non avrei imparato il vero significato della condivisione. Sei fisicamente lontano da me, ma sei vicino al mio cuore sempre. Tu, Erika e Trudy. Vi voglio bene.

Ringrazio la sorella che ho scelto 17 anni fa, Rita. Descriverla come la mia migliore amica, sarebbe riduttivo. Lei è il pezzo che mi completa. Lei è stata quella che più di tutti mi ha spronato a studiare e a non mollare mai, è stata il mio esempio e la mia àncora. Possiamo essere fisicamente distanti, ma le nostre braccia saranno sempre abbastanza lunghe per farci abbracciare. E so che oggi mi stai abbracciando e stai sorridendo insieme a me. Ovunque, mi mancherai sempre.

Durante il mio percorso universitario ho conosciute molte persone, ma una soltanto è entrata nella mia vita e non ne è più uscita: Jessica. Grazie per la tua dolcezza, per la tua semplicità, per tutte le giornate belle e piene di noi. Senza di te, non sarebbe stato altrettanto bello.

Le mie esperienze, lavorative e non, mi hanno permesso di essere a contatto con tanta gente. Durante una delle tante serate lavorative in discoteca, ho conosciuto Rossella. Siamo due opposti, quasi su tutto. Ma non si sceglie di chi innamorarci, ed io e lei ci siamo proprio innamorate. È una delle persone più care che ho, è una di quelle sulle quali sai puoi contare sempre, a qualsiasi giorno ed orario, e sarà sempre felice e

pronta ad aiutarti. Ed io sono fortunata ad averla nella mia vita.

Tredici anni fa sono entrate nella mia vita le persone che avrebbero riempito la mia quotidianità, ancora fino ad oggi. Primo fra tutti, non posso che ringraziare Sergio. Abbiamo vissuto qualsiasi esperienza e siamo, praticamente, cresciuti insieme. Ed a lui devo tanto. Poi c'è Nicola, il mio migliore amico. Non basterebbero tutte le pagine di questa tesi per raccontare le miriadi di cose fatte insieme e l'affetto che ci lega, ma non posso far altro che ringraziarlo per essere nella mia vita. E poi ci sono Alex, Alessandro, Silvio, Ida e tutte le anime belle che mi ha regalato il centro storico. Grazie per rendere la mia vita più bella, ogni giorno.

Ringrazio i miei amici del mondo della notte, in primis i miei "boss" Stefano ed Elio, che mi hanno accolta nella famiglia quando ero ancora una ragazzina, e le donne belle, ma belle davvero, che ho incrociato in questo percorso: Valentina, Giada e Cristina.

Tra le donne belle del mondo della notte, ne ho incontrata una molto speciale, Irene. Abbiamo trascorso molti anni insieme, fianco a fianco, ogni fine settimana, diventando l'una la spalla per l'altra. Sono felice che sia ancora qui, ancora accanto a me.

Ringrazio Rita, che, anche da lontano, resta una costante presenza nella mia vita, da 14 anni a questa parte. Spero di riabbracciarla presto e di andare a fare una super scorpacciata delle nostre. Ringrazio Daniele, mio compagno di banco al liceo e mio "quasi" collega all'università, per la pazienza, i libri prestati e l'amicizia ritrovata. Ringrazio Ludovica, che in questo anno di Servizio Civile non si è mai risparmiata dallo spronarmi e dall'incoraggiarmi, entrando nella mia vita e facendosi spazio nel mio cuore.

Ringrazio la costante della mia vita e del mio cuore, Pasquale. Grazie per tutti i momenti vissuti insieme, belli o brutti che siano stati, fin da quando ero una ragazzina. Mi hai insegnato l'importanza della semplicità, la pazienza e la gentilezza. Se tutto ci ha portato ad essere qui oggi, ogni gioia ed ogni dolore ne saranno valsi la pena. E se sono la donna che sono, lo devo anche a te.

Infine, ringrazio me stessa. Per la caparbia, la tenacia e la costanza. Per averci creduto sempre, per non aver mollato mai, anche quando sembrava impossibile. Per aver vissuto l'università come un punto di partenza e mai d'arrivo. Per tutti i lavori svolti, che mi hanno resa più responsabile e matura affinché riuscissi nel mio percorso accademico. Per tutti i sacrifici che ho fatto per arrivare fin qui, per esserci riuscita con le mie sole forze e con il supporto morale di tutte le persone che fanno parte della mia vita.