

Neuroanatomia

Rosalia Pellitteri, Michela Spatuzza

SISTEMA NERVOSO CENTRALE

Generalità

Il sistema nervoso è una struttura costituita da:

- *sistema nervoso centrale* (SNC) o nevrasse costituito dall'encefalo, dal tronco cerebrale e dal cervelletto contenuti nella scatola cranica, e dal midollo spinale contenuto nel canale vertebrale;
- *sistema nervoso periferico* (SNP) costituito dai nervi cranici e spinali. Tutte le informazioni che giungono dall'esterno (esterocettive), dall'apparato locomotore (propriocettive) e dai visceri (interocettive) vengono recepite dal sistema nervoso che le analizza e le elabora: le *afferenze*, che sono le informazioni che giungono al sistema nervoso, vanno quindi distinte dalle *efferenze* che partono dal sistema nervoso e giungono alla periferia sotto forma di risposte motorie (attività dei muscoli), escretorie (attività ghiandolare) o cognitive (attività superiori).

Il sistema nervoso è in stretta relazione con il sistema endocrino: mentre il primo elabora attività che si estrinsecano velocemente, il secondo elabora processi di natura metabolica che si attuano lentamente, pertanto si parla spesso di *apparato neuroendocrino*.

La struttura del SNC contiene una serie di cavità comunicanti (canale centrale del midollo spinale, IV ventricolo, acquedotto di Silvio, III ventricolo, ventricoli laterali) rivestite da particolari cellule dette *ependimali*: all'interno di queste cavità si trova un liquido, detto *liquido cefalorachidiano* o *cerebrospinale liquor*, che viene prodotto dai *plexi corioidei* costituiti da cellule ependimali modificate secernenti che prendono stretto contatto con i vasi.

L'intero SNC è rivestito e protetto da tre membrane, le *meningi*, che dall'esterno verso l'interno sono:

- *dura madre*: è costituita da tessuto connettivo denso e irregolare e pareti epiteliali squamose. Delimita uno spazio interno, lo spazio epidurale, contenente connettivo lasso, vasi e tessuto adiposo;
- *aracnoide*: rappresenta il rivestimento intermedio formato da epitelio squamoso semplice. Lo spazio tra aracnoide e pia madre viene detto sub-aracnoideo ed è ripieno di liquor che agisce come agente protettivo e come mezzo di diffusione di sostanze nutritive e prodotti di rifiuto;
- *pia madre*: è lo strato più interno, molto vascolarizzato e strettamente addossato al sottostante tessuto nervoso.

Cellule del sistema nervoso

Il sistema nervoso presenta due tipi di cellule: i *neuroni*, particolari cellule specializzate ed eccitabili, e le *cellule gliali* che hanno funzione di supporto, trofica, riparatrice, modulatrice della crescita e dell'organizzazione corticale e che intervengono nei processi infiammatori.

Il neurone

Il neurone rappresenta l'unità anatomica e funzionale del sistema nervoso. È una cellula specializzata che ha il compito di condurre un segnale elettrico e trasmetterlo ad altre strutture, quali neuroni o cellule effettrici (per esempio, le fibre muscolari o le cellule endocrine).

I neuroni sono costituiti da un corpo cellulare (*pirenoforo* o *soma*) dal quale si dipartono due tipi di prolungamenti: gli *assoni* o *neuriti* e i *dendriti*. I primi originano a livello del soma in una regione chiamata *cono di emergenza* e presentano lunghezza variabile, terminando con delle formazioni dette *bottoni sinaptici*, e hanno la funzione di trasmettere il segnale nervoso a distanza; i dendriti sono corti, presentano un aspetto arboriforme

e hanno la funzione di ricevere e veicolare verso il soma i segnali nervosi provenienti da altri neuroni.

Ogni neurone è rivestito da una membrana cellulare, il *neurilemma*, che lo avvolge sia a livello del soma sia a livello delle ramificazioni assoniche e dendritiche (Figura 2.1). Nel citoplasma (*neuroplasma*) sono presenti un nucleo con nucleolo (spesso anche più di uno), un elevato numero di mitocondri, e i ribosomi che si aggregano a livello del reticolo endoplasmatico ruvido attorno al nucleo formando la sostanza di Nills. Sempre in prossimità del nucleo ci sono il complesso del Golgi oltre a un elevato numero di lisosomi. Nel pirenoforo si trovano gli enzimi che catalizzano tutte le attività metaboliche della cellula. Ogni neurone possiede un *citoscheletro* i cui componenti sono strutture filamentose: *microfilamenti*, *neurofilamenti* e *microtubuli* (1,2).

I microfilamenti, costituiti da actina si trovano in prossimità del cono di emergenza, mentre i neurofilamenti sono presenti sia nel soma sia nei prolungamenti assonici e dendritici, e hanno la tendenza ad aggregarsi formando le neurofibrille; la loro funzione è quella di garantire sostegno al neurone. I microtubuli, strutture polimeriche formate da alfa- e beta-tubulina, sono localizzati principalmente nei dendriti e negli assoni; in questi ultimi hanno orientamento longitudinale, nei dendriti l'orientamento è invece pluridirezionale: sono deputati al trasporto intracellulare di molecole e organelli (*trasporto lento*), in cui le proteine vengono veicolate in

senso anterogrado, cioè dal soma alla periferia; attraverso il *trasporto veloce*, invece, i precursori delle vescicole secretorie e gli enzimi del metabolismo dei neurotrasmettitori vengono trasportati in senso sia anterogrado sia retrogrado creando un flusso asso-plasmatico.

Secondo la disposizione dei prolungamenti rispetto al soma è possibile classificare i neuroni in base alla loro morfologia (Figura 2.2):

- *neuroni unipolari*: hanno solo l'assone, sono rari neuroni embrionali e nell'adulto i neuroni sensitivi primari olfattivi e visivi), il soma diventa l'unica area che riceve gli stimoli;
- *neuroni pseudounipolari*: sono i classici neuroni a T, dal cui soma si diparte un corto prolungamento che si divide in due; sono presenti nei gangli sensitivi spinali ed encefalici;
- *neuroni bipolari*: presentano un assone e un dendrite; sono caratteristici della mucosa olfattiva;
- *neuroni multipolari*: sono i più diffusi nel SNC. Ne sono un esempio i neuroni piramidali della corteccia cerebrale e le cellule del Purkinje del cervelletto; in essi dal soma si dipartono molti dendriti e un assone.

Secondo la lunghezza dell'assone, i neuroni sono stati classificati in *neuroni di I tipo del Golgi* con assone lungo, e *neuroni di II tipo del Golgi* con assone corto. Esiste anche una classificazione funzionale che suddivide i neuroni in tre tipi: *neuroni efferenti* o *motori motoneuroni* che conducono gli stimoli dal SNC alla periferia; *neuroni afferenti* o *sensitivi* che trasportano le informazioni sensitive dalla periferia al SNC; *neuroni afferenti e neuroni efferenti* in stretto rapporto mediante un'altra categoria di neuroni, gli *interneuroni* o *neuroni associativi* o *intercalari*, un passaggio fondamentale nell'evoluzione del sistema nervoso (3,4).

Cellule gliali o glia

La glia (dal greco antico *clèa*, "colla") è stata considerata per lungo tempo come una struttura di sostegno e supporto nutritivo per il sistema nervoso; attualmente le vengono attribuite diverse altre funzioni, quali quella di intervenire sul differenziamento morfologico dei neuroni durante lo sviluppo (5) e nelle varie fasi della vita e nei fenomeni di plasticità del sistema nervoso.

Le cellule gliali (Figura 2.3) sono rappresentate da astrociti, oligodendrociti, microglia e cellule ependimali nel SNC, mentre le cellule di Schwann costituiscono la glia del SNP (6).

- Gli *astrociti* hanno forma stellata e si dividono in due tipi: *astrociti protoplasmatici* e *astrociti fibrosi*. I primi, mediante i loro prolungamenti sono in stretto contatto con i vasi e sono abbondanti nella sostanza grigia; quelli fibrosi, invece, si trovano in prevalenza nella sostanza bianca e presentano più prolungamenti. La funzione della glia è quella di garantire un sostegno

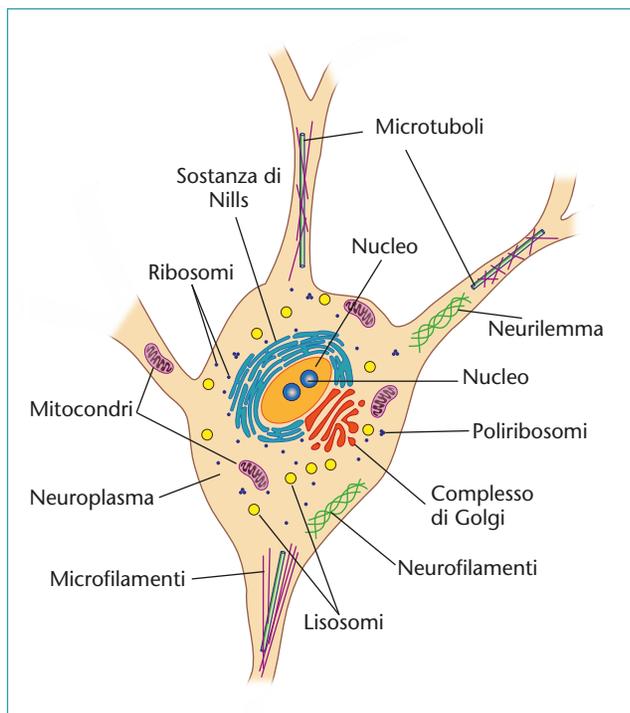


Figura 2.1 Rappresentazione schematica dell'ultrastruttura di un neurone.

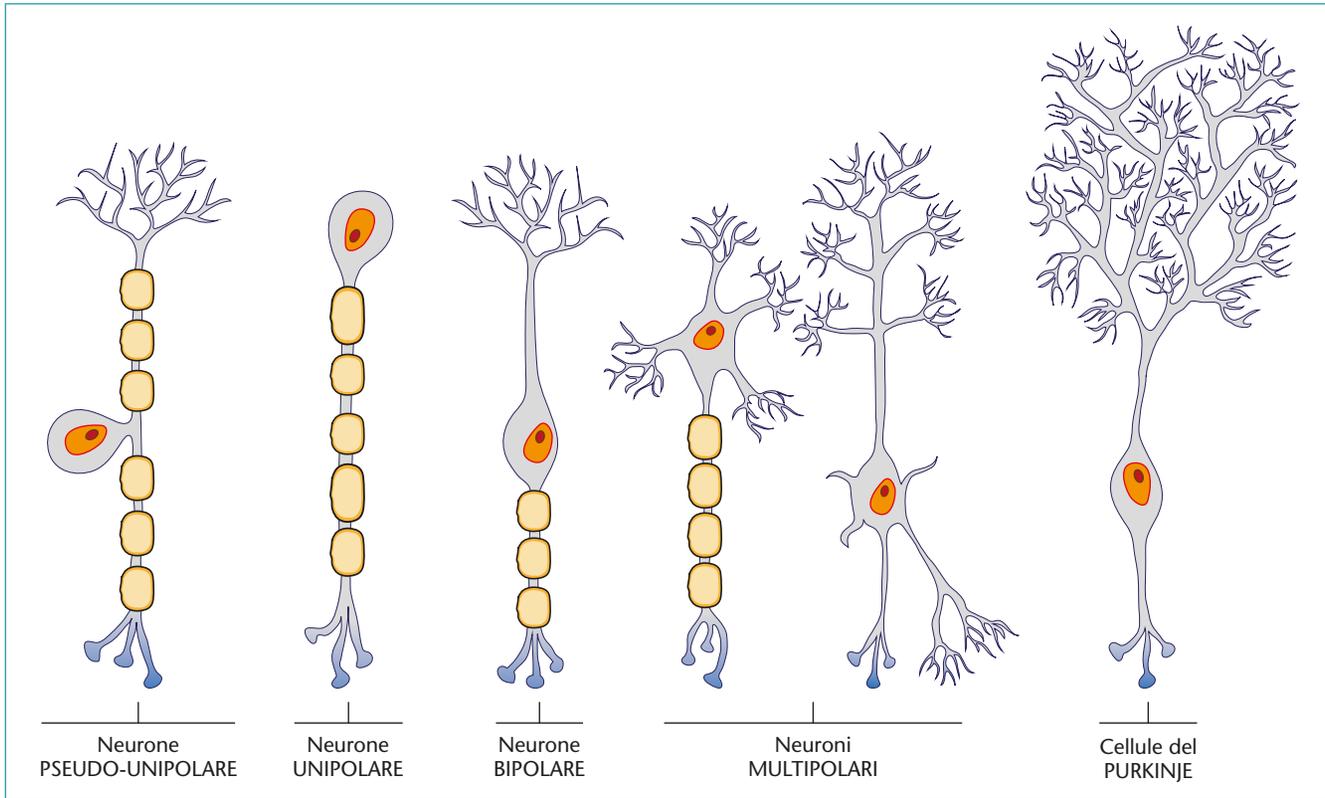


Figura 2.2 Rappresentazione schematica dei vari tipi di neuroni.

ai neuroni e di intervenire nei processi riparatori a seguito di lesioni, questo grazie alla capacità degli astrociti di produrre e secernere fattori trofici (7). Inoltre essi compongono la *barriera ematoencefalica* insieme alle cellule endoteliali contribuendo a regolare l'accesso di sostanze all'interno del SNC (8).

- Gli *oligodendrociti*, localizzati nella sostanza bianca del SNC, a differenza degli astrociti presentano un corpo cellulare più piccolo ed esibiscono pochi prolungamenti. Sono deputati alla produzione della mielina avvolgendo più assoni contemporaneamente. Hanno precursori conosciuti come pro-oligodendrociti.
- La *microglia*, che origina dalle cellule ematopoietiche embrionarie di tipo mieloide, presenta cellule con nucleo piccolo, pochi e brevi prolungamenti e attività fagocitaria. È costituita da cellule ameboidi, dendritiche ramificate (quiescenti), attivate non-fagocitiche e fagocitiche, cellule del composto granulare e microglia peri-vascolare. Si attiva maggiormente nei processi infiammatori: rappresenta, di fatto, il sistema immunitario residenziale del sistema nervoso.
- Le *cellule ependimali* hanno origine epiteliale e rivestono le pareti del canale centrale del midollo spinale, dell'acquedotto di Silvio e dei ventricoli. Presentano delle ciglia che permettono il movimento del liquor all'interno delle cavità encefaliche.

- Le *cellule di Schwann* sono cellule gliali che risiedono nel SNP e, come gli oligodendrociti del SNC, formano mielina che riveste le fibre nervose periferiche. Sono fondamentali per la trasmissione dell'impulso nervoso poiché isolano le fibre, avvolgendole non in maniera continua, ma con delle interruzioni denominate nodi di Ranvier. Questa disposizione permette di velocizzare l'impulso nervoso che viaggia lungo la fibra saltando da un nodo a un altro (conduzione saltatoria). Inoltre le cellule di Schwann sono sorgente di fattori trofici, caratteristica che le rende idonee nei trapianti a livello del midollo spinale lesionato (9).

Un altro tipo di cellule gliali che presenta delle caratteristiche peculiari sono le cellule olfattive di rivestimento OEC (*Olfactory Ensheathing Cells*). Le OEC avvolgono gli assoni dei neuroni recettoriali olfattivi per tutto il loro percorso dall'epitelio al bulbo olfattivo, per cui appartengono sia al SNC sia al SNP. Presentano caratteristiche comuni sia con gli astrociti sia con le cellule di Schwann (si veda Figura 2.3). Sono fonte di fattori trofici, e per tale motivo negli anni recenti sono state impiegate nei trapianti di siti lesionati determinando un buon recupero motorio funzionale (10,11).

I corpi cellulari dei neuroni con i prolungamenti dendritici e con i tratti iniziali degli assoni costituiscono la

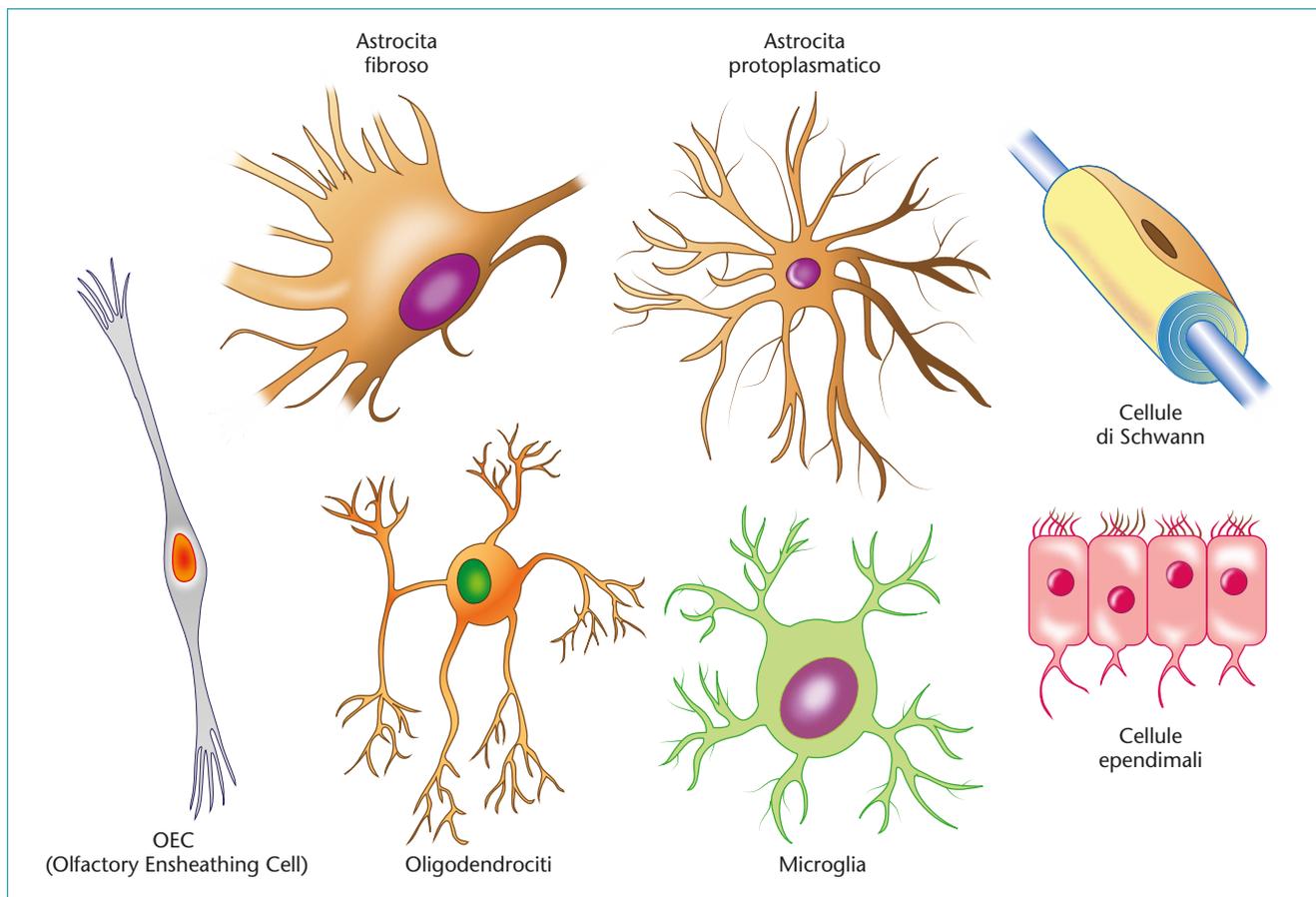


Figura 2.3 Rappresentazione schematica dei diversi tipi di cellule gliali.

sostanza grigia del SNC, mentre i fasci di fibre nervose mieliniche il cui soma si trova nella sostanza grigia costituiscono la *sostanza bianca*. Secondo la localizzazione in determinate strutture cerebrali, la sostanza grigia si può trovare rispetto alla sostanza bianca all'interno (midollo spinale) oppure all'esterno a circondare la sostanza grigia (cervelletto ed emisferi cerebrali).

Poiché le strutture più complesse e filogeneticamente più evolute sono rappresentate dal diencefalo e dal telencefalo (si veda Capitolo 3), l'approccio più didattico per descrivere le aree del sistema nervoso è quello di partire dalle strutture filogeneticamente più semplici quali il midollo spinale, per poi risalire sino alle aree cerebrali più complesse completando la descrizione con gli emisferi cerebrali. In questo capitolo sarà seguito questo ordine, meno consueto, per descrivere tutte le tappe di questo viaggio all'interno del sistema nervoso.

Midollo spinale

Rappresenta la struttura più caudale del SNC, ha una forma allungata che conserva la primitiva struttura del tubo neurale, con carattere segmentario in quanto si

trova all'interno del canale vertebrale tra la I vertebra cervicale (atlante) e la I e II vertebra lombare (ma questo può variare a seconda del sesso e dell'età). La parte finale si assottiglia (*cono terminale*) per poi terminare in un sottile e lungo filamento (*filum terminale*), che si inserisce a livello del coccige (coda o cauda equina).

Il midollo spinale è, per tutta la sua interezza, attraversato da un canale, il *canale ependimale*. Si presenta come un cordone di circa 44 cm di lunghezza, di colore bianco; in senso trasversale non occupa tutto lo spazio vertebrale: infatti tra il periostio del canale vertebrale (*endorachide*) e le meningi che rivestono il midollo spinale (*dura madre*, *aracnoide* e *pia madre*) si trova lo *spazio epidurale*. Lo spazio tra la dura madre e l'aracnoide, detto *spazio subdurale*, contiene la linfa, mentre lo spazio tra l'aracnoide e la pia madre, detto *spazio aracnoideale*, contiene il *liquido cefalorachidiano*. Quest'ultimo ha la funzione di far sì che il midollo spinale possa adattarsi senza subire danni ai continui movimenti ai quali viene sottoposto. Lungo il suo decorso il midollo spinale presenta due rigonfiamenti, uno nel tratto cervicale (*brachiale*) e uno nel tratto lombare (*lombo-sacrale*): tali rigonfiamenti corrispondono alla porzione da cui

fuoriescono i nervi periferici che innervano gli arti superiori e inferiori (plessi brachiale e lombo-sacrale).

Il midollo spinale prende contatto con tutto l'organismo, tranne che con il capo, mediante 33 paia di nervi spinali che emergono lateralmente. Ogni nervo spinale è formato da una radice anteriore o ventrale (*motoria*) e da una radice posteriore o dorsale (*sensitiva*), sulle quali si trova un rigonfiamento, il *ganglio spinale*. Le due radici (anteriore e posteriore) si uniscono formando il *tronco del nervo spinale*, che è quindi un nervo misto. La parte di midollo spinale corrispondente a ogni paio di nervi spinali prende il nome di *neuromero*. Pertanto secondo l'area si distinguono neuromeri cervicali (C1-C8), neuromeri toracici (T1-T12), neuromeri lombari (L1-L5), neuromeri sacrali (S1-S5) e tre o quattro neuromeri coccigei (Co1-Co3/Co4).

Il midollo spinale, se osservato dall'esterno e spogliato dalle sue meningi appare come un cilindro percorso da solchi e fessure disposti parallelamente (Figura 2.4). Nella porzione ventrale si trova la *fessura mediana anteriore* e in sede diametralmente opposta il *solco mediano posteriore*: pertanto, il midollo spinale è diviso in due parti uguali, destra e sinistra. In ogni metà del midollo si identificano tre *cordoni*, anteriore, laterale e posteriore, determinati dalla presenza dei solchi longitudinali. Il cordone posteriore di ciascuno dei due lati è a sua volta suddiviso in due fascicoli: il *fascicolo gracile di Goll* (mediano) e il *fascicolo cuneato di Burdach* (laterale).

Il midollo spinale è diviso in sostanza grigia e bianca. La *sostanza grigia* è costituita da due grosse lamine simmetriche per ciascun lato, riunite da una zona detta *commessura grigia*, attraversata centralmente dal canale

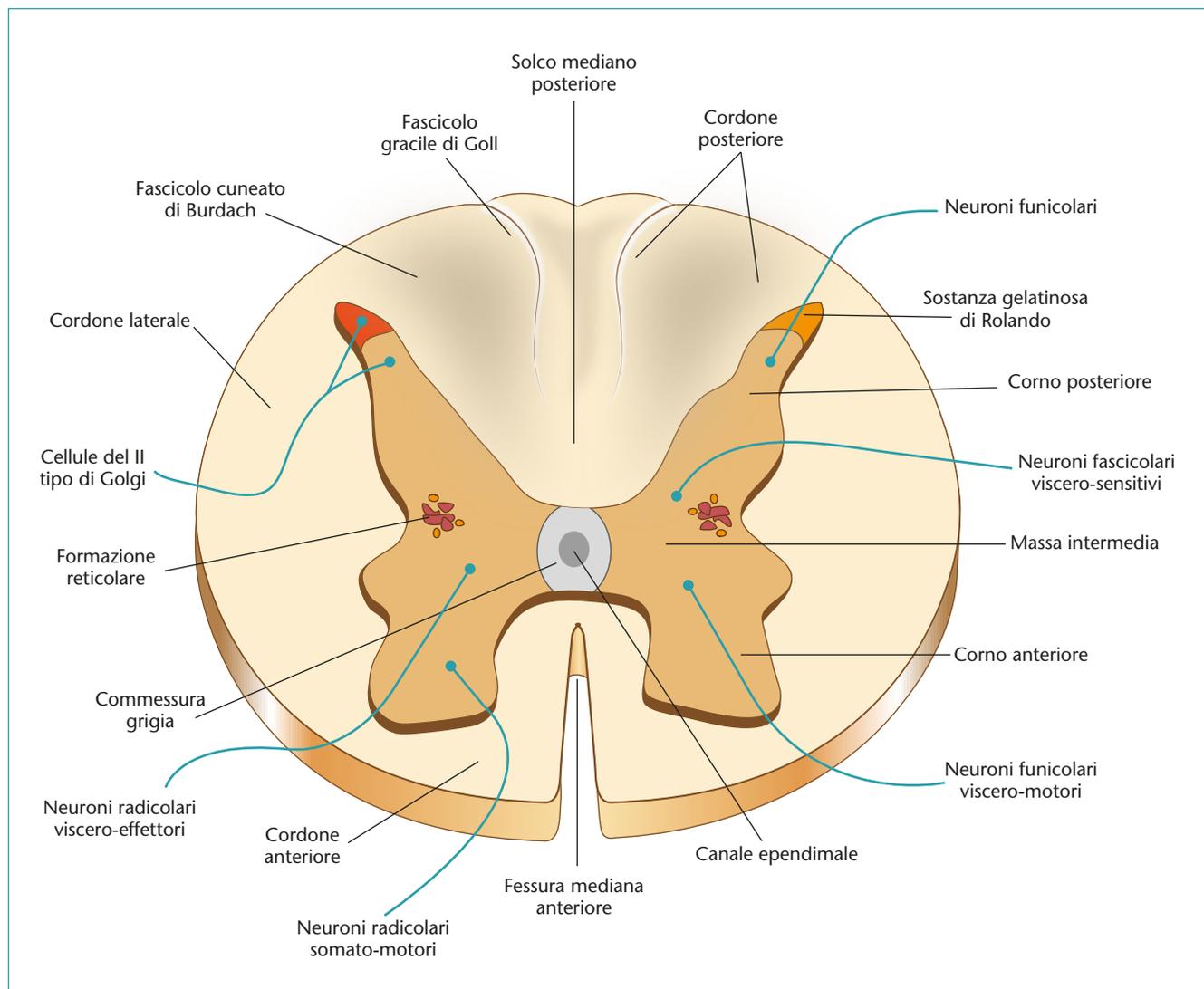


Figura 2.4 Rappresentazione schematica della struttura interna del midollo spinale in sezione trasversa con rappresentata la localizzazione dei vari tipi di neuroni.

ependimale (o centrale). Tale commessura divide le due lamine in senso dorsoventrale in due corna anteriori e due posteriori. Possiamo immaginare questa disposizione della sostanza grigia come la lettera maiuscola "H". Il corno anteriore è piuttosto corto rispetto al posteriore, che si spinge sino al margine dorsale del midollo dove termina in una porzione di aspetto gelatinoso, la *sostanza gelatinosa di Rolando*. L'area che intercorre tra il corno anteriore e il corno posteriore è detta *massa intermedia*; questa presenta verso l'esterno una zona ricca di cellule e fibre che nell'insieme prende il nome di *formazione reticolare*.

La *sostanza bianca* è costituita da fibre mieliniche raccolte in fasci disposti longitudinalmente lungo tutto il midollo spinale costituendo i *cordoni* anteriore, laterale e posteriore.

Il rapporto quantitativo tra sostanza grigia e bianca non è uguale in tutti i neuromeri: la sostanza grigia è molto abbondante a livello dei rigonfiamenti brachiali e lombo-sacrali. La sostanza bianca è molto ridotta nella zona del cono terminale per poi aumentare progressivamente verso la zona cervicale.

La sostanza grigia presenta diversi tipi di neuroni (*radicolari, funicolari, del II tipo del Golgi*), tutti multipolari che si classificano secondo il comportamento dei dendriti e dell'assone (si veda Figura 2.4).

I *neuroni radicolari* sono cellule i cui assoni si dirigono verso le radici anteriori dei nervi spinali e a loro volta si suddividono in *neuroni somatomotori* e *neuroni*

visceroeffettori, entrambi localizzati nel corno anteriore. Tra i neuroni somatomotori distinguiamo i *motoneuroni α* , il cui assone mielinico innerva le fibre muscolari dei muscoli striati, e i *motoneuroni γ* che innervano le fibre muscolari intrafusali dei fusi muscolari. I neuroni visceroeffettori presentano assoni mielinici che fuoriescono dalla radice anteriore e si portano verso i gangli orto- e parasimpatici.

I *neuroni funicolari* si trovano nella commessura grigia e nel corno posteriore. I loro assoni lasciano la sostanza grigia e raggiungono la sostanza bianca formando sistemi di fibre che prendono appunto il nome di funicoli. Possiamo suddividerli in *neuroni di associazione* e *neuroni di proiezione*. Secondo la funzione, i neuroni funicolari si distinguono in *cellule viscerosensitive* e *cellule somatosensitive*.

Le *cellule del II tipo del Golgi* hanno neuriti che non abbandonano la sostanza grigia, e hanno un ruolo di neuroni di associazione dei circuiti locali. Ne sono ricche la regione del corno posteriore e la zona gelatinosa di Rolando.

Le cellule che costituiscono la sostanza grigia all'interno del midollo spinale sono riunite in *pool* neuronali che prendono il nome di *nuclei*: tali formazioni non hanno una disposizione omogenea, pertanto, a livello delle varie sezioni si può distinguere un'organizzazione cito-architettonica laminare che si estende per tutto il midollo spinale (Figura 2.5) divisa in nove *lamine cellulari* (lamine I-IX) organizzate in senso dorso-ventrale,

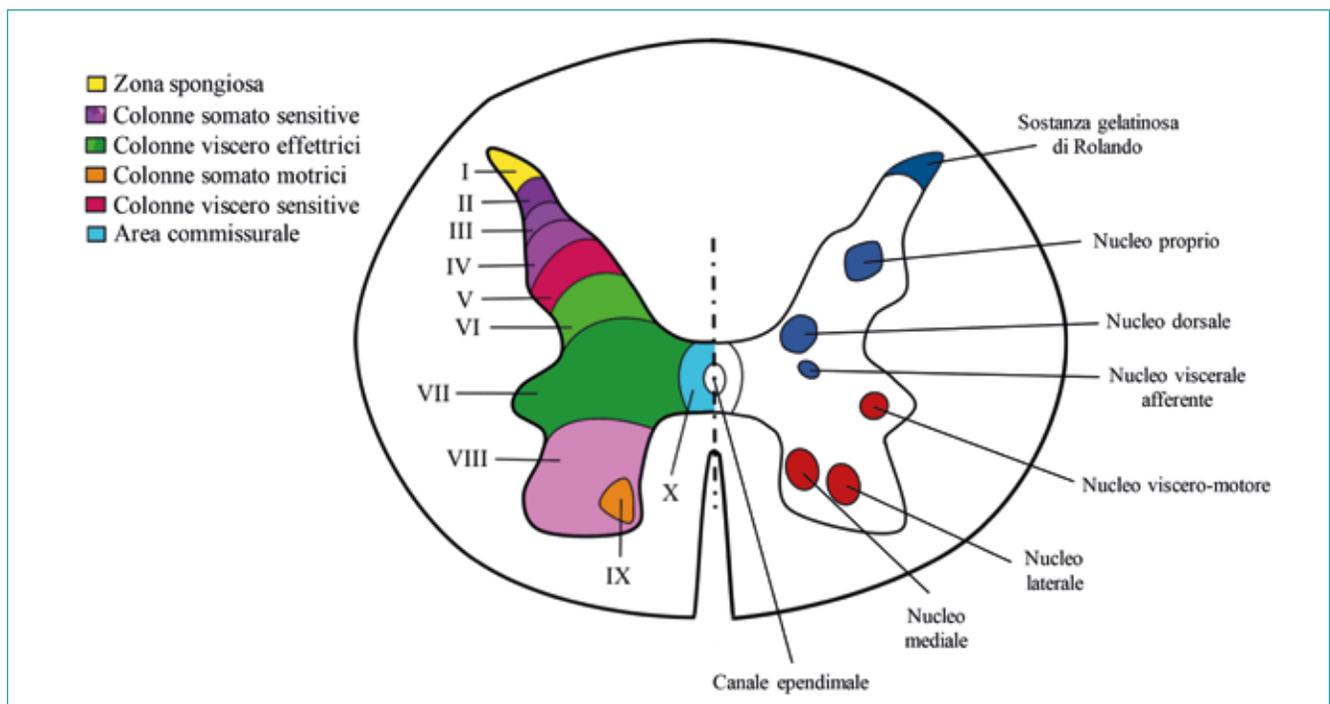


Figura 2.5 Organizzazione cito-architettonica laminare della sostanza grigia e dei relativi nuclei del midollo spinale.

più una decima lamina (lamina X) che corrisponde alla *commessura grigia* (anteriore e posteriore) attorno al canale ependimale, povera di neuroni, prevalentemente di tipo funicolare di associazione. Questa organizzazione laminare, vista *in toto*, forma lungo tutto il midollo spinale delle *colonne* che vengono suddivise come segue: in senso antero-posteriore e antiorario (colonne somatomotrici lamina IX); colonne *viscero-effettrici* (lamine VII e VI); colonne *viscero-sensitive* (formazione reticolare: lamina V); colonne somato-sensitive (lamine VIII, VII, VI, IV, III, II). La lamina marginale (lamina I) corrisponde alla *zona spongiosa* ed è ricca di fibre nervose che si intersecano (3,4,12).

Nuclei della sostanza grigia

Nella sostanza grigia del midollo spinale si trovano i *nuclei sensitivi* (che sono localizzati nelle corna posteriori e ricevono le fibre afferenti il cui corpo cellulare si trova nei gangli spinali), e i *nuclei motori* localizzati nelle corna anteriori (si veda Figura 2.5).

Tra i *nuclei sensitivi* ricordiamo la sostanza gelatinosa di Rolando, il nucleo proprio, il nucleo dorsale e il nucleo viscerale afferente.

- *Sostanza gelatinosa di Rolando*: è costituita da piccoli neuroni di II tipo di Golgi, i quali ricevono informazioni di sensibilità termodolorifica: è presente in tutta la lunghezza del midollo con una maggiore estensione a livello dei rigonfiamenti (e dei plessi) brachiale e lombo-sacrale.
- *Nucleo proprio* (o nucleo principale del corno posteriore): occupa quasi tutto il corno posteriore, ed è formato sia da piccoli neuroni associativi, sia da neuroni di grosse dimensioni. Anche a questo nucleo giungono fibre nervose, il cui pirenoforo si trova nei gangli spinali, che trasportano impulsi di natura termica e dolorifica.
- *Nucleo dorsale*: è posto nella porzione mediale del corno posteriore, contiene grossi neuroni che ricevono informazioni provenienti dall'apparato locomotore (corpuscoli articolari, organo tendineo del Golgi, fusi neuromuscolari), quindi di natura propriocettiva.
- *Nucleo viscerale afferente*: è posto nella porzione laterale del corno posteriore ed è costituito da grossi neuroni. È deputato a ricevere informazioni di origine viscerale.

A livello delle corna anteriori del midollo spinale troviamo i *nuclei motori* che si dividono in nuclei visceromotori e nuclei somato-motori.

- *Nuclei visceromotori*: sono posti a livello della zona mediale del corno anteriore e sono costituiti da neuroni di piccole dimensioni che ricevono informazioni che regolano l'attività del sistema nervoso viscerale.
- *Nuclei somato-motori motoneuroni*: sono localizzati nella parte anteriore del corno anteriore e sono deputati all'elaborazione delle risposte motorie dirette ai

muscoli scheletrici (sistema piramidale). Distinguiamo, secondo la posizione, un *nucleo mediale* i cui assoni innervano la muscolatura del collo e vertebrale, e un *nucleo laterale* che innerva i muscoli toracici, addominali e degli arti. In particolare, i neuroni che innervano i muscoli estensori si trovano anteriormente, mentre quelli che innervano i muscoli flessori si trovano posteriormente (3,4).

Struttura della sostanza bianca

La sostanza bianca è costituita da fasci di fibre mieliniche, con andamento longitudinale, che possono essere ascendenti o discendenti secondo la direzione dell'impulso nervoso. I pirenofori di questi neuroni possono essere localizzati a livello dei gangli spinali, oppure sono cellule funicolari della sostanza grigia del midollo spinale. Come detto sopra, la sostanza bianca del midollo spinale è organizzata nei cordoni anteriore, laterale e posteriore contenenti i fasci di fibre mieliniche che decorrono longitudinalmente (Figura 2.6):

- *cordone anteriore*: contiene il fascio corticospinale anteriore (via piramidale) responsabile dei movimenti volontari; il fascio vestibolospinale; il fascio spinotalamico anteriore che conduce impulsi tattili e pressori; il fascio tettospinale;
- *cordone laterale*: contiene il fascio olivospinale; il fascio spinotettale; il fascio spinocerebellare anteriore che conduce impulsi provenienti dai propriocettori muscolari posti nella parte controlaterale del midollo; il fascio spinotalamico laterale che conduce impulsi termo-dolorifici ai neuroni della corteccia cerebrale controlaterale; il fascio rubrospinale nel quale viaggiano impulsi motori extrapiramidali; il fascio spinocerebellare dorsale che trasporta informazioni propriocettive al cervelletto; infine il fascio corticospinale laterale (o crociato) che origina dalla corteccia motoria controlaterale e porta informazioni relative ai movimenti volontari della muscolatura scheletrica;
- *cordone posteriore*: contiene i fascicoli gracile e cuneato che contengono fibre che trasportano informazioni della sensibilità tattile, vibratoria e propriocettiva.

Una classificazione in base all'*attività funzionale* divide i fasci del midollo spinale in fasci di associazione e fasci di proiezione.

- *Fasci di associazione*: prendono origine dai neuroni funicolari e costituiscono fasci brevi che si connettono con zone vicine. Si distinguono in: *fasci fondamentali* che decorrono lungo i tre cordoni, *fasci a virgola* in corrispondenza del tratto cervicale e primo toracico, *fasci ovali* lungo il tratto cervicale, toracico e lombare, e *fasci superficiali* che si trovano nella zona cervicale e toracica, siti nella parte posteriore del midollo spinale.

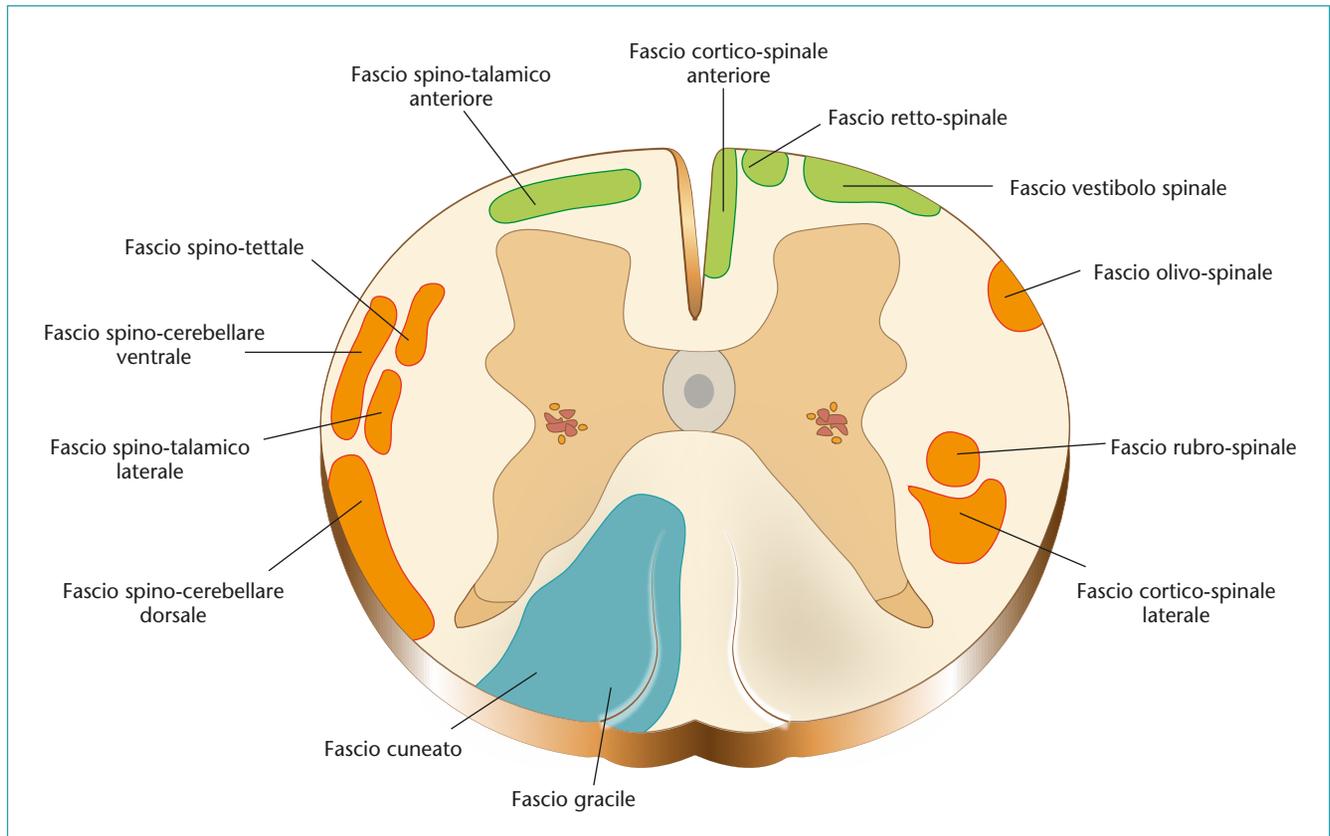


Figura 2.6 Rappresentazione schematica della localizzazione dei fasci della sostanza bianca in una sezione trasversale di midollo spinale.

- *Fasci di proiezione*: secondo il loro orientamento, si dividono in fasci ascendenti e discendenti (3,4). I *fasci ascendenti* originano dalle cellule funicolari o dai neuroni gangliari della radice dorsale del midollo, sono vie della sensibilità somatica e viscerale. Tra essi distinguiamo:
 - *fascicolo gracile e fascicolo cuneato*: originano dalle cellule gangliari e trasportano informazioni relative alla sensibilità tattile e propriocettiva. Il primo si trova più medialmente ed è costituito da fibre provenienti dai gangli situati in zona sacrale, lombare e toracica, mentre il cuneato, posto più lateralmente, è formato da fibre provenienti dal tratto cervicale;
 - *fasci spinotalamici e spinotettali*: originano anch'essi dai neuroni funicolari, e insieme formano il *lemnisco spinale*. I primi arrivano sino al nucleo ventro-postero-laterale del talamo, i secondi raggiungono i tubercoli quadrigemini superiori. Entrambi i fasci trasportano informazioni relative alla sensibilità tattile, termica e dolorifica;
 - *fasci spinocerebellari dorsale e ventrale*: decorrono lungo il cordone laterale del midollo e arrivano al cervelletto. Il fascio dorsale origina dal nucleo dorsale di Clarke del tratto C8-L3 ed è diretto, conduce

stimoli che riguardano la distensione muscolare e la sensibilità tattile profonda; il fascio ventrale è crociato, sale verso il mesencefalo per poi raggiungere la corteccia cerebellare e trasporta informazioni relative al movimento e alla postura;

- *via spinoreticolare*: ha origine da neuroni funicolari diffusi su tutte le lamine posteriori del midollo, risale e raggiunge la zona reticolare bulbare; trasporta impulsi esterocettivi.

Esistono altri fasci minori tra gli ascendenti, tra i quali: le *vie spinocorticali*, *spino-olivari*, *spino-vestibolari* e *spinopontine*.

Il *fasci discendenti* si trovano nel cordone antero-laterale e originano da neuroni siti nella corteccia corticale o cerebellare. Distinguiamo:

- 1) *vie cortico-spinali o piramidali*: hanno origine dai neuroni localizzati a livello della corteccia corticale, discendono attraversando la capsula interna, il mesencefalo e il ponte sino ad arrivare alle piramidi bulbari. Qui una parte di fibre decussa e discende il midollo lungo il cordone laterale costituendo il *fascio piramidale crociato* o *cortico-spinale laterale*. Alcune fibre scendono lungo il cordone anteriore senza incrociarsi,

Tabella 2.1 Vie del sistema extrapiramidale

| | Origine | Funzione |
|---------------------------------|--|--|
| Fascio reticolo-spinale | Formazione reticolare pontine e bulbare | Attivazione dei motoneuroni α e β |
| Fascio vestibolo-spinale | Nervo vestibolare laterale del bulbo | Attivazione dei riflessi e dei muscoli estensori |
| Fascio rubro-spinale | Nervo rosso mesencefalico | Controllo dei muscoli flessori |
| Fascio tetto-spinale | Tubercoli quadrigemini superiori del mesencefalo | Riflessi posturali provocati da stimoli visivi |
| Fascicolo longitudinale mediale | Nervo vestibolare mediale bulbare Formazione reticolare Tubercoli quadrigemini superiori del mesencefalo | Esplica diverse funzioni, tra le quali il controllo dei movimenti coordinati degli occhi e del collo |
| Fascio olivo-spinale | Nervo olivare inferiore del bulbo | Controllo dei movimenti del collo e degli arti superiori |

costituendo il *fascio piramidale diretto* o *fascio cortico-spinale ventrale*. Le vie cortico-spinali trasmettono ai motoneuroni informazioni relative alla motricità volontaria;

- 2) *vie del sistema extrapiramidale*: terminano direttamente nei motoneuroni α e β del midollo oppure vengono in contatto con essi mediante l'interposizione di interneuroni. A questo sistema appartengono diversi fasci quali: *reticolo-spinale*, *vestibolo-spinale*, *rubro-spinale*, *tetto-spinale*, *olivo-spinale* e il *fascicolo longitudinale mediale*. La Tabella 2.1 riassume l'origine e la funzione dei suddetti fasci.

TRONCO ENCEFALICO

Il tronco encefalico è la struttura che mette in comunicazione il midollo spinale con gli emisferi cerebrali. Lungo circa 8-9 cm, è la porzione filogeneticamente più antica dell'encefalo. Dal punto di vista morfologico è suddiviso in tre regioni: *bulbo* (*midollo allungato*), *ponte*, *mesencefalo* (Figura 2.7A).

Il canale centrale del midollo spinale si apre nel IV ventricolo nella zona bulbo-pontina per poi portarsi avanti nel mesencefalo formando l'acquedotto di Silvio, e quindi aprirsi a livello diencefalico con il III ventricolo.

A livello del tronco encefalico si trovano i nuclei propri di questa struttura, la formazione reticolare e i nuclei dei nervi cranici (III-XII) (Figura 2.8). In esso distinguiamo una parte anteriore denominata *piede*, costituita per lo più da sostanza bianca, e una parte posteriore, detta *calotta* o *tegmento*, che è la parte filogeneticamente più antica e formata da sostanza grigia.

Bulbo

Il bulbo (*midollo allungato*) è una struttura lunga circa 5 cm che tende ad allargarsi in senso caudo-rostrale (Figura 2.7B) per la presenza delle piramidi (formazioni costituite da fibre del sistema piramidale). Lateralmente

alle piramidi vi sono due rilievi tondeggianti denominati *olive*, formate dai *nuclei olivari inferiori*; nella parte posteriore troviamo i due *tubercoli*, mediale (*gracile*) e laterale (*cuneato*).

Tra i *nuclei propri del bulbo* ricordiamo il *nucleo gracile* e il *nucleo cuneato* insieme ai loro *nuclei accessori*, siti nella parte inferiore e dorsalmente. Dai nuclei gracile e cuneato si origina un fascio di fibre che si incrociano e risalgono costituendo il *lemnisco mediale* che termina a livello del talamo. Al *nucleo arciforme*, localizzato ai piedi del bulbo, arrivano fibre dalla corteccia cerebrale, e partono fibre che raggiungono il cervelletto (fibre arciformi esterne). Dal *nucleo del cordone laterale*, deputato alla sensibilità viscerale, partono fibre che arrivano sia al cervelletto sia al talamo, mentre giungono fibre dal sistema spinocerebellare e spinotalamico. Il *nucleo olivare inferiore* è formato da due subunità: il *nucleo principale* e i *nuclei accessori para-olivari mediale e dorsale*. Da essi partono fibre che raggiungono la corteccia cerebellare e fibre che vanno ai motoneuroni somatici del midollo spinale (*fascio olivo-spinale*). Al nucleo olivare inferiore arrivano fibre dal mesencefalo (*fibre rubro-olivari*), dallo striato (*fibre strio-olivari*) e dalla corteccia cerebrale (*fibre cortico-olivari*). Tutti questi fasci discendenti che arrivano al nucleo olivare appartengono al sistema extrapiramidale. Inoltre, nella regione adiacente al IV ventricolo si trovano i nuclei dei nervi cranici: il *nucleo dell'ipoglosso* (XII), il *nucleo motore dorsale del vago* (X; innervazione del cuore, delle vie respiratorie e del sistema digerente), il *nucleo del tratto solitario* (VII, **nervo facciale**, IX, **nervo glosso-faringeo**; X, **nervo vago**), e il *complesso nucleare vestibolare* (VIII, vestibolo-cocleare o stato-acustico) (si veda Figura 2.8). Appartengono al bulbo anche alcuni raggruppamenti neuronali della formazione reticolare.

Ponte

Il ponte, di forma triangolare come il bulbo, consta di due parti: una ventrale molto ampia detta *piede* o *base*

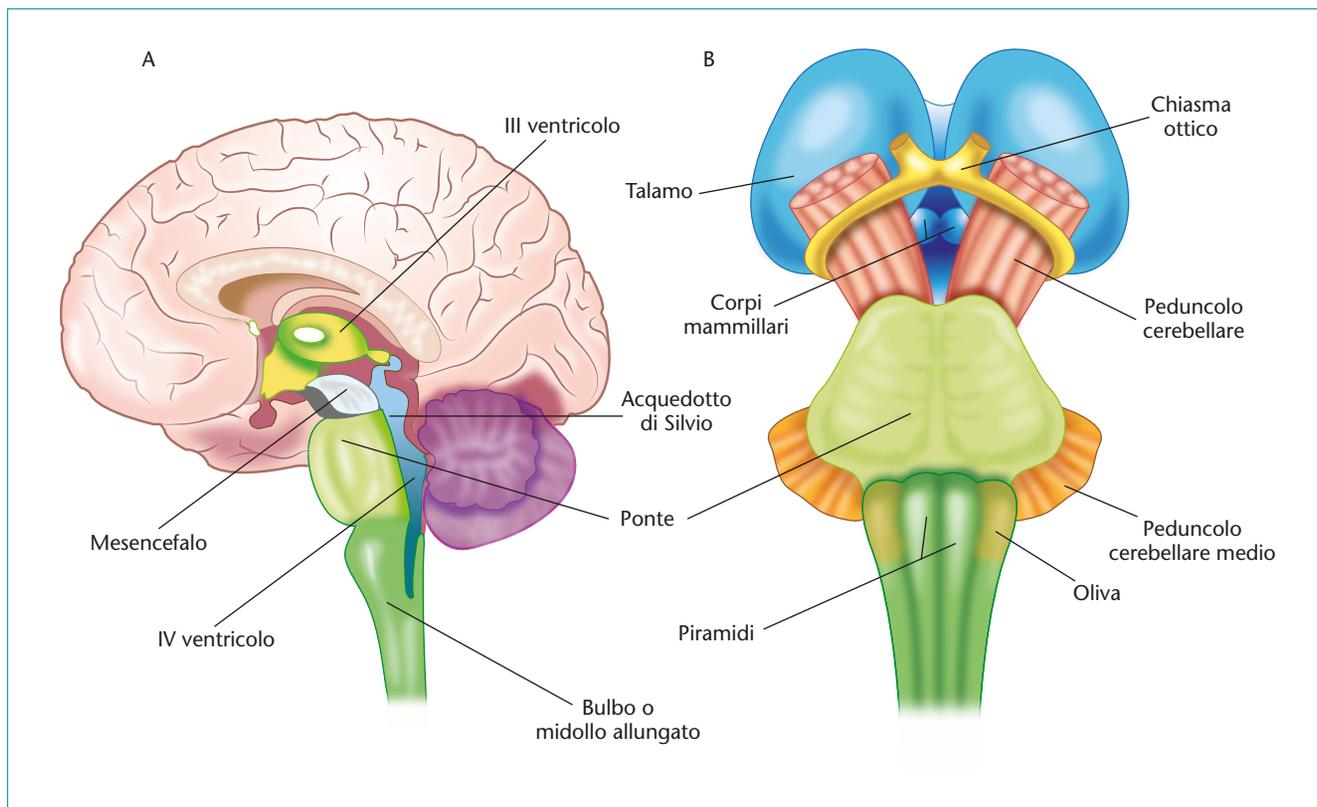


Figura 2.7 (A) Rappresentazione schematica delle strutture localizzate nel tronco encefalico. (B) Porzione anteriore del tronco encefalico.

del ponte, e una posta dorsalmente di piccole dimensioni detta *tegmento del ponte* (si veda Figura 2.7B).

Nel piede troviamo un addensamento neuronale che costituisce i *nuclei basilari del ponte*, dove arrivano fibre provenienti dalle diverse cortecce cerebrali, formando la via diretta cortico-pontina (*fronto-pontina, temporo-pontina, parieto-pontina, occipito-pontina*), la quale a livello del piede pontino prende rapporto con le fibre della via piramidale. Dai nuclei basilari del ponte si dipartono le *fibre ponto-cerebellari* che si portano nella parte opposta del ponte per poi arrivare al cervelletto del lato opposto. Pertanto la via cortico-ponto-cerebellare mette in rapporto la corteccia cerebrale con quella cerebellare controlaterale.

Nel tegmento, che è la continuazione del bulbo, troviamo i nuclei di alcuni nervi cranici, come lo stato-acustico (VIII), il *faciale* (VII), l'abducente (VI) e il trigemino (V) (si veda Figura 2.8). Tra i nuclei propri del ponte, rivestono una certa importanza i *nuclei correlati con le vie uditive*, cioè il *nucleo olivare superiore*, il *nucleo del corpo trapezoide* e il *nucleo del lemnisco laterale*. Ai primi due giungono fibre dirette e crociate dal nucleo cocleare ventrale, mentre al nucleo del lemnisco laterale giungono fibre dal nucleo olivare superiore, dal nucleo del corpo trapezoide e dal nucleo cocleare dorsale.

Mesencefalo

Il mesencefalo è l'organo che, grazie alla sua posizione centrale, svolge essenzialmente la funzione di connettere le strutture sovrastanti con quelle sottostanti. Si sviluppa poco ed è quasi coperto dalle aree encefaliche vicine. Presenta una cavità detta *acquedotto di Silvio*. Il mesencefalo è costituito da una parte anteriore in cui risiedono i due *peduncoli cerebrali*, e da una parte posteriore che si protrae con i peduncoli cerebellari superiori, dove si trova la *lamina quadrigemina* costituita dai *tubercoli quadrigemini inferiori e superiori* (o *collicoli*), entrambi centri di integrazione, rispettivamente, per le vie uditive e visive. Dal mesencefalo emergono i nervi cranici III (*nervo oculomotore*) e IV (*nervo trocleare*) (si veda Figura 2.8).

Tra i nuclei propri del mesencefalo ricordiamo il nucleo rosso, la *substanza nera*, i nuclei del fascicolo longitudinale mediale e il nucleo interpeduncolare. Tali nuclei sono localizzati a livello del tegmento mesencefalico.

Il *nucleo rosso* deve la sua denominazione al fatto che appare di colore rossastro nei preparati freschi perché riccamente vascolarizzato. Si trova in prossimità dei tubercoli quadrigemini superiori. In sezione trasversa esibisce una forma tondeggiante e in esso si trovano le

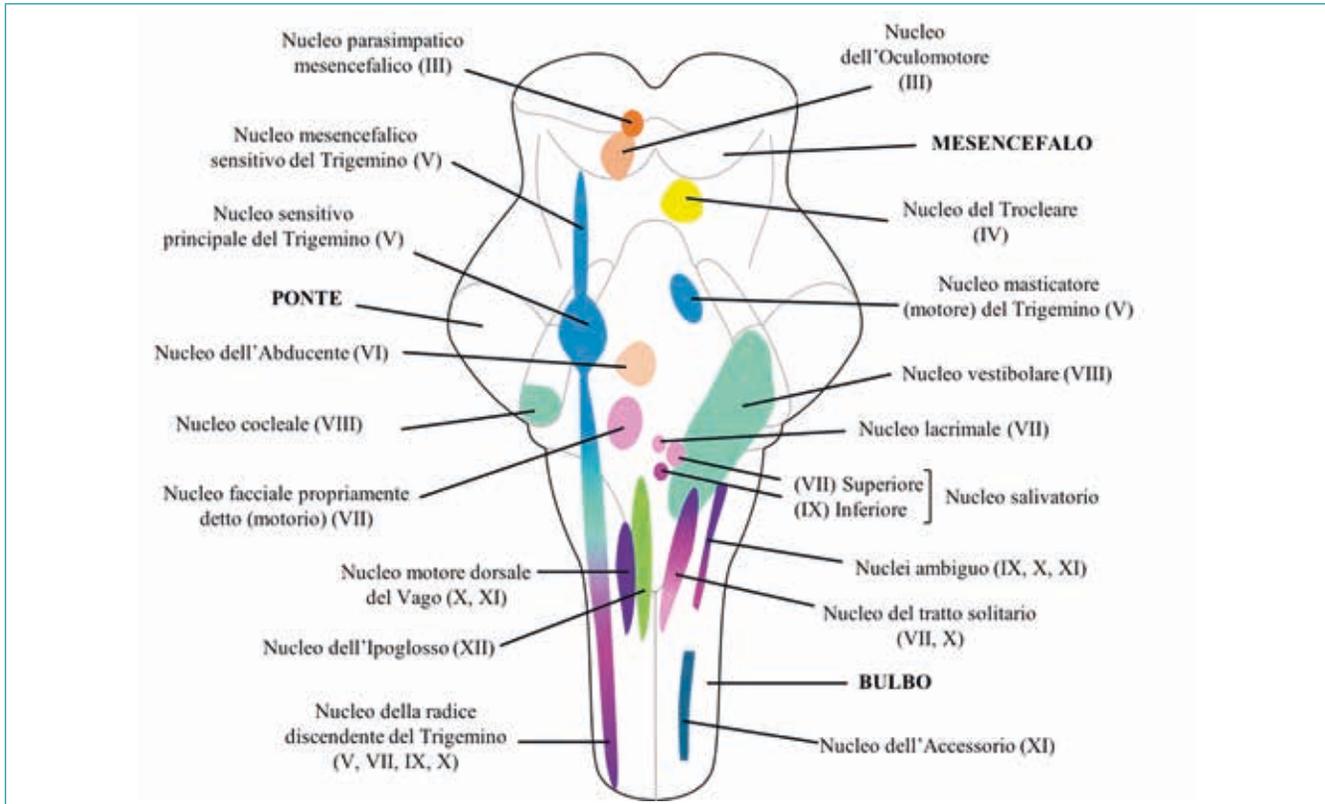


Figura 2.8 Localizzazione dei nuclei dei nervi cranici III-XII all'interno delle strutture del tronco encefalico.

fibre appartenenti al nervo oculomotore (III) (si veda Figura 2.8). Presenta neuroni di grandi dimensioni (componente *magnocellulare*) e neuroni più piccoli (componente *parvicellulare*). Al nucleo rosso giungono fibre provenienti dalla corteccia cerebrale omolaterale (*via cortico-rubra*): alcune si fermano allo striato (*via cortico-striato-rubra*) e altre prendono contatto con i nuclei subtalami (via *cortico-striato-subtalamico-rubra*). Inoltre arrivano al nucleo rosso fibre provenienti dal nucleo dentato del cervelletto (*via cerebello-rubra*) e anche fibre collaterali del lemnisco mediale. Dal nucleo rosso, in particolare dalla componente magnocellulare, si dipartono fibre che in prossimità della loro origine decussano a livello della calotta (*decussazione ventrale*) per poi raggiungere il midollo spinale nel cordone laterale (*via rubro-spinale*). Abbiamo inoltre la *via rubro-olivare*, dove le fibre raggiungono le olive bulbari, e la *via rubro-reticolare* in cui le fibre arrivano alla formazione reticolare, costituendo così il *sistema centrale della calotta*. Sono presenti anche connessioni tra il nucleo rosso e alcune aree corticali, quali l'ippocampo, l'insula, la corteccia frontale e occipitale, deputate ad attività cognitive (13).

La **sostanza nera** (*substantia nigra*) è formata da una serie di cellule molto compatte, che si estendono in tutto il mesencefalo. I neuroni sono ricchi di un pigmento,

la neuromelanina, che conferisce la colorazione scura, da cui il nome. Consta di una parte compatta e di una reticolata, i neuroni sono per lo più dopaminergici, e la loro perdita porta all'insorgenza della malattia neurodegenerativa di Parkinson. Tra le vie afferenti ricordiamo quelle provenienti dalla corteccia cerebrale (*via cortico-nigra*) e dallo striato nuclei caudato e putamen: la *via nigro-striatale* che si diparte da neuroni dopaminergici siti nella porzione compatta, la *via nigro-tettale* che raggiunge i tubercoli quadrigemini superiori, la *via nigro-talamica* che arriva ai nuclei ventrali e laterali del talamo. Per la sua funzione, la **sostanza nera** rappresenta un'importante stazione del sistema extrapiramidale (si veda Tabella 2.1).

Tra i nuclei propri del mesencefalo ricordiamo inoltre i *nuclei del fascicolo longitudinale mediale* (nucleo interstiziale, nucleo del tubercolo quadrigemino superiore), la cui funzione è quella della coordinazione dei movimenti del capo e del collo, e il *nucleo interpeduncolare*, localizzato tra i due nuclei rossi, a cui arrivano fibre che portano informazioni olfattive (3,4).

La *formazione reticolare*, rappresenta la parte filogeneticamente più antica, ed è formata da neuroni associativi con un enorme numero di sinapsi. È costituita da un insieme di neuroni frammisti a fibre nervose senza un

ordine ben preciso a costituire una rete (da cui il nome reticolare). Si estende per tutto il tronco encefalico, con inizio nei primi segmenti spinali sino al diencefalo. La formazione reticolare regola le funzioni del sistema nervoso vegetativo e il ritmo sonno-veglia, modula i riflessi muscolari e quelli deputati alla nocicezione, e il livello di coscienza. Essa viene suddivisa, in base a criteri architettonici e funzionali, in tre colonne longitudinali: nuclei della colonna mediana (nuclei del rafe), nuclei della colonna parasagittale mediale e nuclei della colonna parasagittale laterale.

I *nuclei della colonna mediana (nuclei del rafe)* sono costituiti per lo più da neuroni serotoninergici, anche se si trovano neuroni contenenti alcuni neuropeptidi. Tali nuclei sono suddivisi in nuclei rostrali (zona rostrale del ponte e del mesencefalo) e nuclei caudali (porzione caudale del ponte e del bulbo). Ai *nuclei rostrali* appartengono il nucleo dorsale del rafe, il nucleo del rafe pontino, il nucleo tegmentale dorsale e il nucleo centrale superiore, tutti deputati alla regolazione del ritmo sonno-veglia. Tra i *nuclei caudali*, dal basso verso l'alto, troviamo il nucleo scuro del rafe, il nucleo pallido del rafe e il nucleo magno del rafe, tutti, in particolar modo il nucleo quest'ultimo, deputati al controllo della trasmissione del dolore.

I *nuclei della colonna parasagittale mediale* sono costituiti da neuroni di grandi dimensioni: dal basso verso l'alto troviamo il nucleo gigantocellulare, il nucleo reticolare del tegmento pontino, i nuclei reticolari caudali e rostrali pontini e i nuclei cuneiforme e subcuneiforme. Dai nuclei reticolari si dipartono vie ascendenti (*sistema reticolare ascendente attivante* che arriva al talamo) e vie discendenti (*tratti reticolo-spinale mediale e laterale*) deputati al controllo della postura e al mantenimento dell'equilibrio).

I *nuclei della colonna parasagittale laterale* sono costituiti per lo più dall'area reticolare parvicellulare estesa per tutto il bulbo e il ponte, formata da interneuroni che regolano le attività viscerali, gastrointestinali, cardiovascolari e respiratorie. Particolarmente importante è il nucleo del *locus coeruleus*, posto in prossimità del ponte rivolto verso il pavimento del IV ventricolo caratterizzato da neuroni noradrenergici dai quali si dipartono fibre che arrivano a tutti i livelli del nevrasso, dal midollo spinale alla corteccia cerebrale. Questi nuclei controllano attività legate all'emotività, all'attenzione e allo stato di veglia.

Altri nuclei appartenenti alla formazione reticolare che proiettano esclusivamente al cervelletto (controllo motorio) sono i *nuclei reticolari mediano, laterale e tegmentale* (3,4).

Una zona del mesencefalo (parte posteriore) che merita, per la sua estensione e funzione particolare (attenzione), è la *lamina quadrigemina* in cui sono siti i quattro *tubercoli quadrigemini*, due superiori e due inferiori: i due

superiori sono connessi con il corpo genicolato laterale del talamo, gli inferiori sono in rapporto con il corpo genicolato mediale talamico. I tubercoli quadrigemini superiori presentano una citoarchitettonica suddivisa in sei strati (zonale, grigio superficiale, delle fibre ottiche, grigio intermedio, bianco centrale, grigio profondo) che ricorda quella della corteccia cerebrale. Ai tubercoli quadrigemini superiori arrivano fibre ottiche e fibre che trasportano informazioni della sensibilità protopatica e olfattiva. Le fibre efferenti dei tubercoli quadrigemini superiori sono costituite dalle *vie tetto-reticolare, tetto-spinale e tetto-pontina*. I tubercoli quadrigemini superiori sono deputati all'integrazione degli stimoli luminosi. Le afferenze che arrivano ai tubercoli inferiori provengono dal lemisco mediale e costituiscono la via acustica centrale, e le efferenze arrivano al corpo genicolato talamico per poi raggiungere la corteccia telencefalica dell'area acustica.

Sostanza bianca del tronco encefalico

Anche in questo distretto del tronco encefalico si distinguono, come nel midollo spinale, fasci di fibre di associazione, ascendenti e discendenti (Figura 2.9).

I *fasci di associazione* sono costituiti da tutte le fibre che connettono varie strutture del tronco cerebrale. Fra questi ricordiamo il fascicolo longitudinale mediale, deputato al controllo dei movimenti degli occhi e del capo, che origina dai nuclei siti nella parte anteriore mesencefalica che prendono contatti con la sostanza grigia del ponte e del bulbo.

Tra i *fasci ascendenti* ricordiamo il fascio spinocebellare anteriore, il lemisco spinale e il lemisco mediale; quest'ultimo costituisce il tratto bulbo-talamico. Inoltre troviamo la *via vestibolare centrale* che origina dai nuclei vestibolari e arriva al cervelletto e la *via acustica centrale* che origina dal nucleo cocleare anteriore e che successivamente, insieme alle fibre provenienti dal nucleo cocleare posteriore, costituisce il *lemisco laterale* che raggiunge i corpi quadrigemini inferiori nel mesencefalo.

I *fasci discendenti* sono rappresentati dalle fibre corticospinali della via piramidale e dalle fibre appartenenti alla via extrapiramidale, come il fascio rubro-spinale, il fascio tetto-spinale, il fascio vestibolo-spinale e il fascio olivo-spinale.

Cervelletto

Il cervelletto è un organo di forma ovoidale localizzato nella fossa cranica posteriore. In esso possiamo distinguere una porzione mediana, il *verme* (la parte filogeneticamente più antica), e lateralmente i due *emisferi cerebellari* (la parte filogeneticamente più evoluta) che presentano un susseguirsi di solchi con profondità diverse che lo suddividono in lobi, lobuli e lamelle

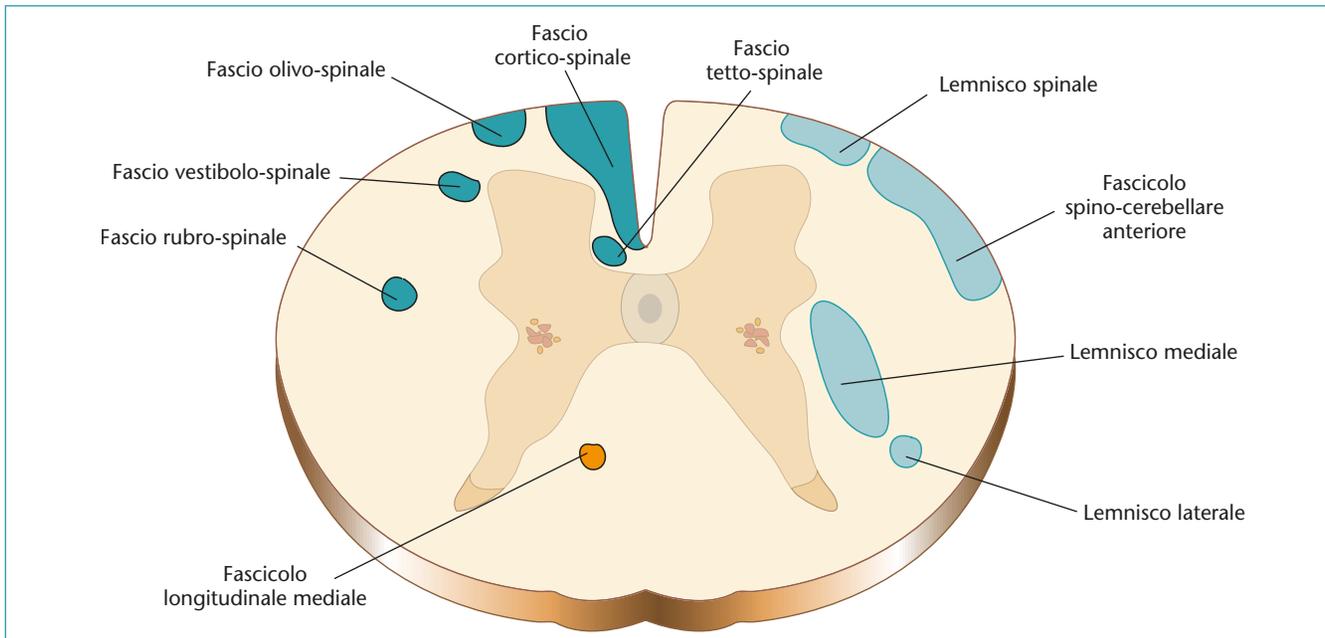


Figura 2.9 Localizzazione dei fasci del tronco encefalico in una sezione trasversa.

(Figura 2.10A). I solchi più profondi costituiscono le scissure o fessure: la *scissura primaria* divide ciascun emisfero in due lobi, uno anteriore e uno posteriore. Il cervelletto è collegato al tronco encefalico mediante tre paia di *peduncoli cerebellari*: quelli inferiori lo connettono al bulbo, i medi al ponte e i superiori al mesencefalo. Inoltre, anteriormente ai due emisferi sono visibili due formazioni, una per ogni lato, dette *floccoli*, che circondano la parte inferiore del verme che prende il nome di *uvula* (Figura 2.10B).

Il cervelletto presenta una parte esterna che costituisce la corteccia cerebellare e una parte interna, il centro midollare formato dalla sostanza bianca, nella quale si trovano ammassi di sostanza grigia che costituiscono i nuclei profondi del cervelletto: *nucleo dentato*, *nucleo interposito* (globoso ed emboliforme) e *nucleo fastigio* (o del tetto).

Il cervelletto presenta una classificazione filogenetica così distribuita:

- 1) *archicerebellum*: rappresenta la parte più antica, ove si trova il nucleo fastigio, deputato al mantenimento dell'equilibrio e della postura;
- 2) *paleocerebellum*: comprende il nucleo interposito deputato alla regolazione dell'equilibrio, della postura e del tono muscolare degli arti inferiori;
- 3) *neocerebellum*: è la parte filogeneticamente più evoluta e più estesa; comprende il nucleo dentato e ha la funzione di coordinare i movimenti degli arti inferiori e superiori.

Ricordiamo che il cervelletto controlla anche l'apprendimento del movimento ("temporizzazione generalizzata") e la velocità e precisione della percezione delle informazioni, elabora i processi di acquisizione di segnali sensoriali, la memoria a breve termine e la memoria di lavoro, la modulazione delle emozioni, il controllo degli impulsi, l'attenzione, la capacità di apprendimento coordinata, e ha anche funzioni cognitive superiori di elaborazione di informazioni complesse e capacità di progettazione rivolta al futuro.

Citoarchitettura della corteccia cerebellare

La corteccia cerebellare è suddivisa in tre strati, dall'esterno verso l'interno: lo strato molecolare, lo strato gangliare e lo strato dei granuli.

Nello *strato molecolare*, detto anche superficiale, troviamo le *cellule dei canestri* che inviano assoni nello strato sottostante, i *neuroni fusiformi* e i *neuroni stellati*, entrambi con assoni brevi. Lo strato molecolare, tra tutti, è quello più spesso.

Lo *strato gangliare* è costituito da un solo tipo di neuroni, le *cellule del Purkinje* (o gangliari) disposte in fila; esse rappresentano l'unica via efferente del cervelletto. Gli assoni delle cellule del Purkinje raggiungono i nuclei profondi attraverso la sostanza bianca del cervelletto, pertanto i neuroni del Purkinje costituiscono la via finale comune di tutti gli impulsi efferenti. Sono neuroni inibitori GABAergici che regolano i movimenti più complessi e coordinati.

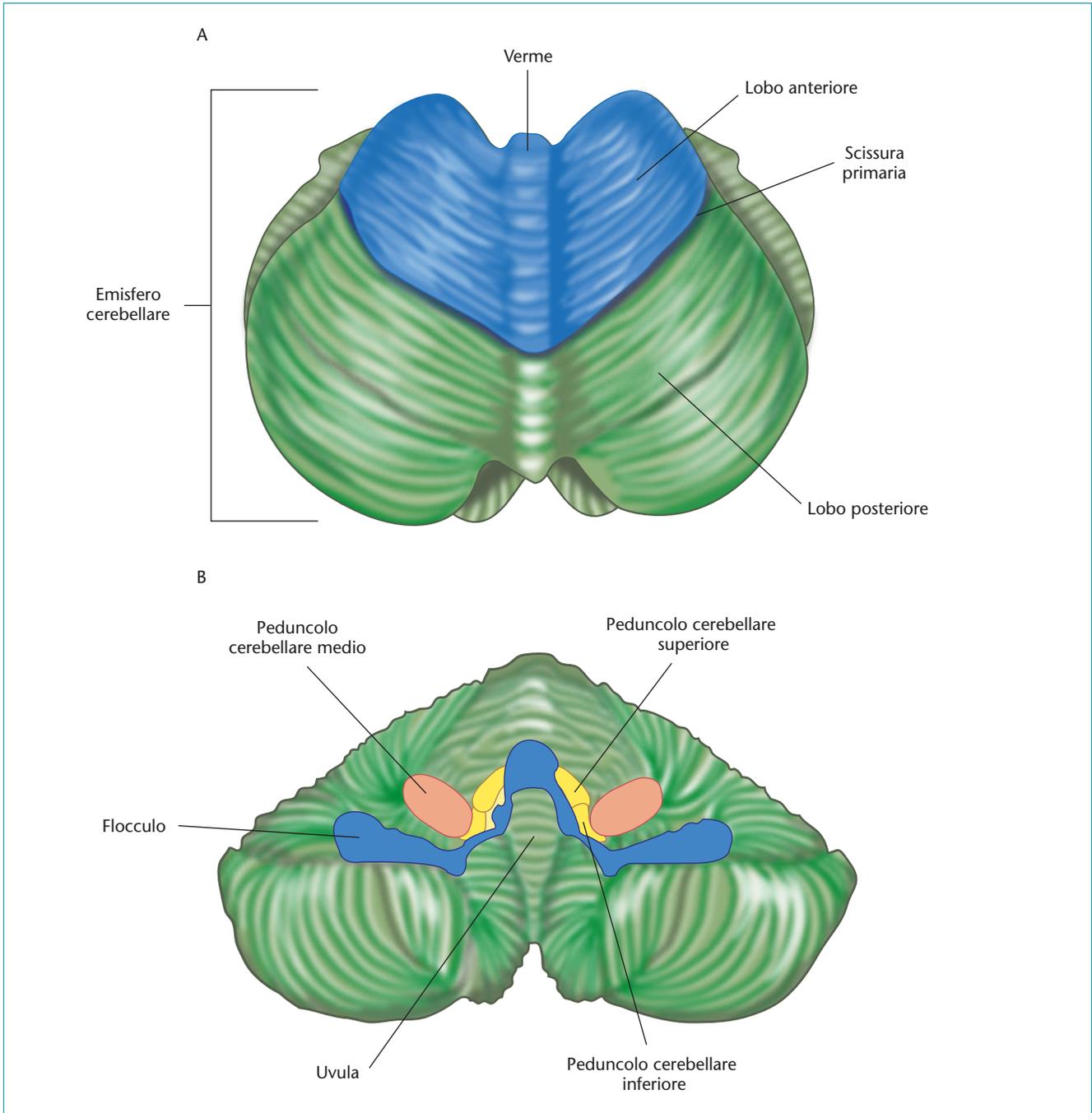


Figura 2.10 Configurazione esterna del cervelletto visto dall'alto (A) e anteriormente (B).

Lo strato dei granuli, il più interno, è costituito da diversi tipi di neuroni multipolari di piccole dimensioni che prendono il nome di *granuli*. Si distinguono piccoli granuli e grandi granuli (cellule di Golgi) con corti prolungamenti.

Oltre ai neuroni, i tre strati presentano delle cellule di supporto gliali, le cellule di Bergmann e le cellule penniformi.

A livello della corteccia cerebellare, si distinguono tre tipi di fibre:

- le *fibre parallele*, formate dai prolungamenti dei granuli che si portano allo strato molecolare dopo aver stabilito sinapsi con le cellule del Purkinje;
- le *fibre rampicanti*, formate da assoni mielinici provenienti dalle olive inferiori, che prima di raggiungere la corteccia cerebellare (dendriti delle cellule del

Purkinje) contraggono sinapsi con i nuclei profondi del cervelletto;

- le *fibre muscoidi*, che penetrano nel cervelletto, portando tutte le informazioni di origine cerebro-spinale, e si dirigono verso uno dei nuclei cerebellari, per poi raggiungere lo strato dei granuli, dove prendono contatti sinaptici con le cellule granulari. Ogni fibra muscoide emette dei piccoli prolungamenti che terminano con una placca che prende contatti sinaptici con le cellule granulari. Questa struttura costituisce il *glomerulo cerebellare*. Dal punto di vista funzionale, compito dei glomeruli è amplificare i segnali che arrivano alla corteccia cerebellare e la presenza di piccoli granuli permette una sorta di modulazione degli impulsi con effetto quindi inibitorio (3,4,14,15).

Sostanza bianca del cervelletto

È formata dal corpo midollare in cui si trovano i nuclei intrinseci e dalle fibre afferenti ed efferenti e di associazione. Queste ultime si organizzano in due sistemi commissurali, la *commessura anteriore* (davanti al nucleo dentato) e la *commessura posteriore* (in prossimità del nucleo fastigio). Il corpo midollare è suddiviso in due lamine: la lamina inferiore, che è in stretto contatto con i plessi corioidei del IV ventricolo, e la lamina superiore che forma il tetto della parte pontina del IV ventricolo. Il corpo midollare è connesso con il tronco encefalico mediante i peduncoli cerebellari.

Vie cerebellari afferenti ed efferenti

Come detto sopra, il cervelletto, secondo la sua origine filogenetica, può essere suddiviso in *archicerebellum*, *paleocerebellum* e *neocerebellum*. Questa suddivisione è su base funzionale e consente di dividere l'organo in tre territori, ognuno con fibre efferenti e afferenti diverse.

Archicerebellum

Detto anche *vestibolocerebellum* (perché riceve informazioni provenienti dal sistema vestibolare) è deputato alla percezione della posizione della testa. Le *fibre vestibolocerebellari* si suddividono in primarie e secondarie, e attraverso i peduncoli cerebellari raggiungono la corteccia cerebellare dello stesso lato (fibre primarie) o la corteccia ipsilaterale e controlaterale (fibre secondarie). Alcune fibre, molto poche, si fermano al nucleo fastigio. Le efferenze situate in questo distretto partono dalla corrispondente corteccia e raggiungono il nucleo fastigio per poi dirigersi ai nuclei vestibolari (*fascio cerebello-vestibolare* e *fascicolo uncinato*). Il fascio cerebello-vestibolare diretto raggiunge, attraversando il peduncolo cerebellare inferiore, i quattro nuclei vestibolari; il fascicolo uncinato, invece, parte dal fastigio, attraversa il peduncolo cerebellare superiore e giunge ai nuclei vestibolari controlaterali. Alcune fibre dell'uncinato arrivano alla formazione reticolare del bulbo e del ponte, per cui

il cervelletto influenza, mediante il sistema reticolo-spinale, il controllo della postura.

Paleocerebellum

A questa zona arrivano tutte le informazioni propriocettive e tattili non coscienti del tronco, degli arti e del capo. Ricordiamo: il *fascio spinocerebellare ventrale* (crociato) che dalla VII lamina del midollo spinale del corno posteriore decussa nella commissura bianca e risale nei cordoni laterali controlaterali, poi decussa nuovamente a livello del mesencefalo (è una via doppiamente crociata) e quindi attraverso i peduncoli superiori raggiunge la corteccia cerebellare (lobo anteriore); il *fascio spinocerebellare dorsale* (diretto) che risale posteriormente al fascio spinocerebellare, non decussa e raggiunge il lobo anteriore della corteccia cerebellare tramite il peduncolo cerebellare inferiore; il *fascicolo bulbo-cerebellare*, detto anche cuneo-cerebellare perché si origina dal cuneato del bulbo, che raggiunge il cervelletto mediante i peduncoli cerebellari inferiori; le *fibre trigemino-cerebellari* che raggiungono il cervelletto tramite i peduncoli cerebellari inferiori e superiori, portando informazioni provenienti dal sistema trigeminale, quindi informazioni legate alla masticazione e ai movimenti oculari. Inoltre al *paleocerebellum* giungono anche fibre provenienti dai nuclei olivari (*fibre olivo-cerebellari*) e dal nucleo reticolare bulbare (*fibre reticolo-cerebellari*). Le fibre efferenti di questo distretto partono dal nucleo interposito e raggiungono, mediante il peduncolo cerebellare superiore, il nucleo rosso mesencefalico controlaterale (*via cerebello-rubra*).

Neocerebellum

A questo distretto giungono fibre provenienti dalla corteccia cerebrale che passano per il ponte e attraverso i peduncoli cerebellari medi raggiungendo la corteccia cerebellare posteriore controlaterale (*via cortico-pontocerebellare*). Esiste anche una *via cortico-olivo-cerebellare* che passa dai nuclei olivari inferiori prima di raggiungere il cervelletto. Le fibre efferenti del *neocerebellum* prendono origine dalle cellule del Purkinje degli emisferi e raggiungono il nucleo dentato per poi arrivare, dopo decussazione, al nucleo rosso e ai nuclei talamici, costituendo così la *via dentato-rubro-talamica* o, se vanno direttamente al nucleo ventrale laterale del talamo, la *via dentato-talamica*. Da qui la via dentato-talamica continua sino ad arrivare alla corteccia cerebrale con un'organizzazione somatotopica molto precisa (*via dentato-talamica-corticale*). Come vie efferenti minori ricordiamo la *via cerebello-reticolo-spinale* che dal cervelletto, attraverso la reticolare, arriva al midollo spinale (3,4,14,15).

Diencefalo

Il diencefalo è una struttura singola, ricoperta per la maggior parte dagli emisferi cerebrali, all'interno della

quale si trova il terzo ventricolo. È una stazione di smistamento di tutti gli impulsi, ma soprattutto è un centro di integrazione di tutte le informazioni motrici, sensitive, ormonali e vegetative. È delimitato da una spessa stria di sostanza bianca, la *capsula interna*, che lo divide dal telencefalo. Il diencefalo è costituito da una porzione superiore che comprende il *talamo* e l'*epitalamo*, e da una porzione inferiore costituita dall'*ipotalamo* e dal *subtalamo*; le due porzioni sono separate da una ripiegatura della parete del ventricolo, il *solco ipotalamico*.

Talamo

Il talamo costituisce la struttura più interna e più voluminosa del diencefalo. È formato da sostanza grigia a stretto contatto con il terzo ventricolo. È una formazione ovoidale suddivisa da una parte anteriore molto sottile, il *polo anteriore*, e da un insieme di nuclei in rapporto tra di loro, il *polo posteriore (pulvinar)*. Esso svolge una funzione detta di *relay*, perché è deputato allo smistamento di tutte le informazioni sensitive (tranne quelle olfattive che arrivano alla corteccia senza passare per il talamo) provenienti dal midollo spinale e dal tronco encefalico dirette verso le zone della corteccia cerebrale; inoltre presenta un certo numero di interneuroni con funzione inibitoria (GABAergici). Il talamo è coinvolto in tutti quei meccanismi responsabili del risveglio e dell'attenzione.

Dal lato superiore il talamo è separato dal nucleo caudato mediante la *stria terminale*, mentre la parte superiore è separata da quella mediale dalla *tenia del talamo*. Il talamo è in stretto contatto con il terzo ventricolo (*tela corioidea*) delimitato superiormente dal fornice. Le due porzioni mediali dei talami di destra e sinistra sono in contatto tramite l'*adesione intratalamica* (Figura 2.11).

Il talamo è circondato da zone di sostanza bianca, la *sostanza bianca peritalamica* e *intratalamica*. Alla prima appartengono i quattro *peduncoli talamici* (anteriore, superiore, posteriore e inferiore) che connettono il talamo con gli emisferi cerebrali (corona radiata del talamo). La sostanza bianca intratalamica è suddivisa in due lamine, la *lamina midollare interna* che delimita le parti anteriore, mediale e laterale, ove sono localizzati i nuclei anteriore, mediale, laterale, ventrale e intralaminare, e la *lamina midollare esterna* che separa i nuclei laterale e ventrale dal *nucleo reticolare talamico*.

Nuclei del talamo

Secondo la loro funzione, i nuclei talamici vengono distinti in *nuclei specifici* e *nuclei non specifici* (Tabella 2.2). I primi, detti specifici perché sono connessi con zone specifiche della corteccia cerebrale, si suddividono a loro volta in nuclei di relay e nuclei di associazione. I *nuclei di relay* ricevono informazioni di natura sia sensitiva sia motoria e trasmettono queste informazioni a

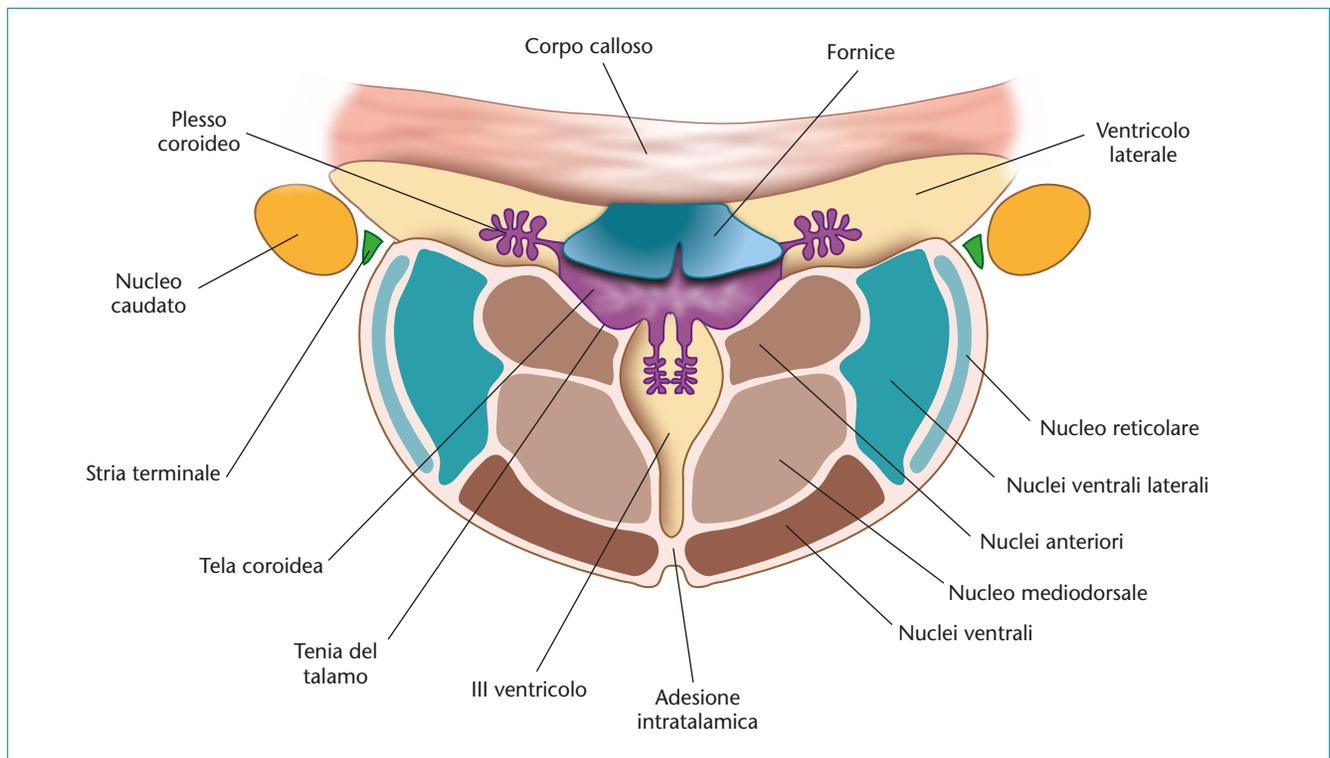


Figura 2.11 Rappresentazione schematica dei nuclei talamici in sezione trasversa.

| Tabella 2.2 Classificazione dei nuclei talamici | |
|---|---|
| Origine | Nuclei |
| <i>Nuclei specifici</i> | |
| Talamo anteriore | N. antero-dorsale N. antero-mediale N. antero-ventrale |
| Talamo mediale | N. dorso-mediale |
| Talamo laterale | N. laterale-posteriore N. laterale-dorsale <i>Pulvinar</i> |
| Talamo ventrale | N. ventrale-anteriore N. ventrale posteriore N. ventrale-laterale |
| <i>Nuclei non specifici</i> | |
| Nuclei intralaminari | N. centro mediano N. parafascicolare N. centrali mediali N. centrali laterali N. reticolare |
| Nuclei della linea mediana | N. parateniale N. paraventricolare N. reuniente N. romboidale |

specifiche aree corticali cerebrali. I *nuclei di associazione* ricevono impulsi dalla corteccia cerebrale, li elaborano e li rinviando alla corteccia.

Nuclei specifici I *nuclei anteriori* sono formati da tre nuclei costituiti da neuroni di piccole dimensioni, un nucleo principale (*nucleo antero-ventrale*) e due accessori (*nucleo antero-dorsale* e *antero-mediale*). Tali strutture fanno parte del sistema limbico e sono collegate con l'asse ippocampo-ipotalamo-corteccia, quindi coinvolti nella memoria a breve termine.

Ai *nuclei mediali* appartiene il *nucleo dorso-mediale*, il quale è diviso in due porzioni, magnicellulare anteriore e parvicellulare posteriore. La porzione magnicellulare anteriore proietta le fibre che riceve dall'amigdala all'area preottica, all'ipotalamo e ai tubercoli olfattivi; la porzione parvicellulare posteriore proietta alla corteccia frontale anteriore, pertanto il nucleo dorso-mediale svolge funzioni integrative.

I *nuclei laterali* sono rappresentati dal nucleo laterale dorsale e dal nucleo laterale posteriore, oltre che dal pulvinar. Il laterale posteriore proietta alla corteccia parietale. Il pulvinar, una regione molto sviluppata nei primati, è suddiviso nei nuclei laterale (che invia proiezioni alla corteccia temporale posteriore), mediale (che invia proiezioni alla corteccia parietale posteriore) e inferiore (che invia proiezioni alla corteccia occipitale).

Ai *nuclei ventrali* appartengono i nuclei ventrali anteriore, laterale e posteriore.

- Il *nucleo ventrale anteriore* presenta neuroni di grosse e medie dimensioni. A esso arrivano proiezioni dal globo pallido mediante il fascio lenticolare dalla *substantia nigra*, dalla corteccia cerebrale, dalla formazione reticolare e dai nuclei del talamo intralaminari. Le fibre efferenti invece raggiungono la corteccia cerebrale (area 4 e area 6) e l'insula. È considerato una stazione del sistema attivatore ascendente.
- Il *nucleo ventrale laterale* è formato da piccoli neuroni che ricevono afferenze dal nucleo dentato controlaterale del cervelletto (via dento-talamica) e dal *globus pallidus*. Le fibre efferenti inviano informazioni al volto, al tronco e agli arti superiori e inferiori, con una organizzazione somatotopica.
- Il *nucleo ventrale posteriore* è suddiviso in due sub-nuclei:
 - il *nucleo ventrale postero-laterale* è considerato il nucleo più importante del talamo coinvolto nella sensibilità somatica, in quanto riceve afferenze dal lemnisco mediale (che trasporta impulsi sensitivi) e dal lemnisco spinale (che trasporta informazioni dolorifiche e termiche);
 - il *nucleo ventrale postero-mediale* riceve afferenze, mediante la via trigemino-talamica anteriore e posteriore, che raggiungono la testa; inoltre riceve informazioni dalla via gustativa centrale (via solitario-talamica). Le afferenze del nucleo ventrale postero-mediale arrivano alla corteccia cerebrale (circonvoluzione post-centrale).

Nuclei non specifici Appartengono a questo gruppo i nuclei intralaminari, il nucleo reticolare e i nuclei della linea mediana, i quali proiettano alla corteccia cerebrale in maniera più diffusa.

- I *nuclei intralaminari* sono suddivisi in: nucleo centro-mediano, nucleo parafascicolare, nuclei centrali mediale e laterale. Ricevono afferenze dalla formazione reticolare ascendente che parte dai nuclei reticolari bulbare e pontino; inoltre arrivano anche fibre provenienti dal dentato del cervelletto. Tra le afferenze ricordiamo quelle che arrivano al putamen e al caudato (via talamo-striata).
- Il *nucleo reticolare* è situato lateralmente e appare come un sottile strato laminare, è costituito da neuroni GABAergici a cui arrivano fibre dalla corteccia. Le fibre efferenti invece raggiungono la formazione reticolare mesencefalica.
- I *nuclei della linea mediana* sono rappresentati dai nuclei parateniale, paraventricolare, reuniente e romboidale. Sembra che abbiano rapporti con l'ipotalamo, le loro afferenze sono incerte. Le fibre efferenti raggiungono la corteccia entorinale, frontale parietale e occipitale.

I *corpi genicolati* sono due formazioni sporgenti, pari, simmetriche, che si distinguono secondo la posizione

in mediale e laterale e sono localizzati in un'area talamica che prende il nome di *metatalamo*.

Il *corpo genicolato mediale* è in rapporto con la via acustica ed è costituito da due nuclei, il dorsale e il ventrale. Il nucleo dorsale è in contatto con il tubercolo quadrigemino inferiore, con il lemisco laterale e con le olive superiori. La sua principale efferenza arriva alla corteccia temporale (area 41) costituendo così la *via genicolo-temporale*, ma esistono altre fibre che arrivano ai tubercoli quadrigemini inferiori dando così origine a un meccanismo di feedback. Il nucleo ventrale è in stretto contatto con la parte posteriore del talamo e con il nucleo sopragenicolato. Esso invia fibre ai nuclei talamici laterali e ventrali, al pulvinar e al corpo genicolato mediale opposto.

Il *corpo genicolato laterale* è più sporgente e più voluminoso rispetto al mediale. Dalla parte posteriore si distacca il braccio congiuntivo superiore che lo connette al tubercolo quadrigemino superiore, pertanto fa parte della via ottica ricevendo fibre dal tratto ottico, e invia efferenze alla corteccia occipitale (scissura calcarina) costituendo la *via genicolo-calcarina*. Il corpo genicolato laterale è anch'esso suddiviso in un nucleo dorsale e uno ventrale. Il primo presenta una forma a ferro di cavallo formata da una struttura laminare con sei strati grigi, i cui ultimi due strati più interni presentano neuroni voluminosi (*neuroni magnocellulari*). Il nucleo ventrale è formato da ammassi di formazioni grigie che sono in contatto con la zona incerta (3,4).

Epitalamo

L'epitalamo è posto in corrispondenza del tetto del terzo ventricolo e comprende il *complesso dei nuclei abenulari* con la commessura abenulare (trigono dell'abenula), l'*epifisi*, la *commessura posteriore* e i *pleksi corioidei del terzo ventricolo*.

Il *trigono dell'abenula* è una regione triangolare con l'apice rivolto verso il talamo e deve il suo nome al fatto che il termine latino *habena* significa briglia: questa regione infatti ha la forma di una briglia a cui è attaccata l'epifisi. È formato da una regione grigia ove si trovano i nuclei abenulari, e da una sostanza bianca rappresentata dalle strie midollari del talamo. Il *nucleo dell'abenula* è suddiviso da una parte mediale e da una parte laterale: a esso arrivano afferenze da amigdala, ippocampo, tubercolo olfattivo, tubercoli quadrigemini superiori (via tetto-abenulare). La principale via efferente raggiunge il nucleo interpeduncolare del mesencefalo (fascio abenulo-interpeduncolare o fascicolo di Maynert) che controlla gli stimoli olfattivi. Le due abenule sono unite dalla *commessura abenulare*. La *stria midollare* del talamo è un fascio di fibre di sostanza bianca (fibre olfattive) provenienti dai nuclei del setto che decorrono sul margine superiore del talamo e terminano nei nuclei dell'abenula, sia ipsi- sia controlaterale.

L'*epifisi (ghiandola pineale)* è posta in stretto contatto con le abenule, ha una forma che ricorda una pigna, è impari e posta medialmente. È costituita da due tipi di cellule, le *cellule principali (pinealociti)* e le *cellule interstiziali (gliociti)*. È una ghiandola a secrezione interna, i cui pinealociti producono la melatonina, un ormone deputato alla regolazione del ritmo sonno-veglia, al letargo e all'ibernazione.

La *commessura posteriore* mette in comunicazione i due pulvinar. In essa decorrono fibre in contatto con i nuclei del nervo oculo-motore che regolano l'accomodazione e i riflessi pupillari.

I *pleksi corioidei del III ventricolo* si trovano nella faccia ventricolare della tela corioidea e sono costituiti da granulazioni che producono il *liquor* (3,4).

Ipotalamo

È posto sotto il solco ipotalamico e anteriormente al chiasma ottico e circonda la cavità del III ventricolo. L'ipotalamo è costituito dal *tuber cinereum*, dal peduncolo ipofisario che tiene l'ipofisi legata all'ipotalamo, dai corpi mammillari che sono stazioni intermedie della via olfattiva. A livello ipotalamico è possibile identificare tre aree: la regione sopraottica (posta anteriormente), la regione infundibolo-tuberale (la più estesa e posta medialmente) e la regione mammillare o posteriore (3,4,16).

Nuclei dell'ipotalamo I nuclei della regione sopraottica si distinguono in: nucleo ipotalamico anteriore, nucleo sopraottico e nucleo paraventricolare (Figura 2.12). Questi ultimi due sono coinvolti nel sistema ipotalamo-ipofisario poiché producono rispettivamente vasopressina (o ormone antidiuretico) e ossitocina. Questi due ormoni, sintetizzati in forma inattiva, raggiungono la neuroipofisi per essere immessi nel circolo sanguigno.

I nuclei della regione infundibolo-tuberale sono localizzati in due zone: la zona mediale che comprende il *nucleo ventro-mediale* (centro della fame e della sete), il *nucleo dorso-mediale* (regola le funzioni gastrointestinali), il *nucleo posteriore* (aumento della pressione sanguigna), il *nucleo perifornicale* che avvolge il fornice (deputato alla regolazione della pressione arteriosa e degli stati emozionali), il *nucleo arcuato* posto nel *tuber cinereum* (secrezione di fattori rilascianti, o *realising factors*, che regola l'equilibrio fame/sazietà); la zona laterale comprendente il *nucleo ipotalamico laterale* (controllo della sete e fame) e il *nucleo tuberale* (produzione di *realising factors*).

I nuclei della regione posteriore sono rappresentati dai *nuclei mammillari mediali*, che sono deputati a tutte le attività inerenti la sfera emotiva-riflessa, la regolazione del ritmo sonno-veglia e le attività vegetative si veda (si veda Figura 2.12).

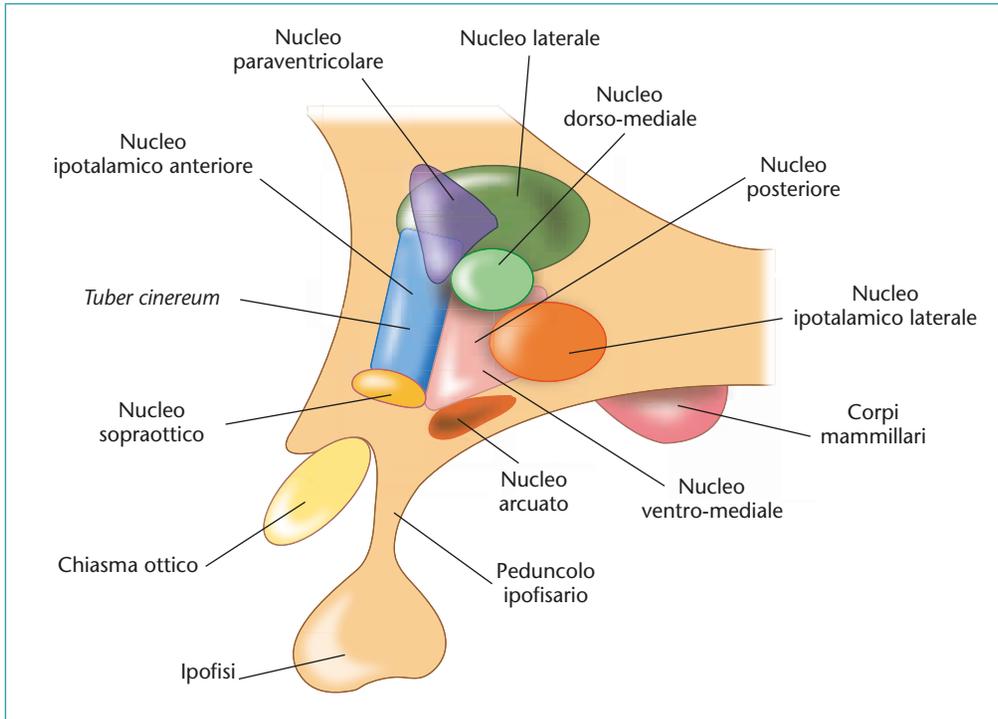


Figura 2.12 Localizzazione dei nuclei ipotalamici.

Connessioni afferenti Il fascicolo mediale del proencefalo, che comprende fibre setto-ipotalamiche, fibre cortico-ipotalamiche e fibre olfattivo-ipotalamiche, non è molto sviluppato nell'uomo. Tali fibre decorrono longitudinalmente nell'ipotalamo.

- La *via ippocampo-ipotalamica* connette l'ippocampo con il nucleo mammillare mediale dell'ipotalamo.
- Le *fibre cortico-ipotalamiche* arrivano dall'area frontale corticale sia alla regione preottica sia ai nuclei laterali ipotalamici.
- La *via amigdo-ipotalamica* porta fibre provenienti dall'amigdala alle regioni sopraottica e laterale dell'ipotalamo.
- La *via talamo-ipotalamica* connette il nucleo dorso-mediale talamico con i nuclei laterale e preottico dell'ipotalamo.
- La *via del peduncolo mammillare* è formata da fibre che partono dalla calotta mesencefalica e arrivano al nucleo mammillare laterale.

Connessioni efferenti Il fascio mammillare principale prende origine dal nucleo mammillare mediale per poi biforcarsi nel fascicolo mammillo-talamico, che prende contatti con i nuclei talamici, e il fascio mammillo-tegmentale, che giunge alla calotta mesencefalica.

Il sistema delle fibre periventricolari si origina principalmente dall'ipotalamo posteriore e per la maggior parte invia fibre discendenti verso la lamina quadrigemina e nella zona grigia periacqueduttale formando il fascicolo

longitudinale dorsale di Schutz che, attraverso la reticolare, arriva al tronco encefalico e al midollo spinale.

Le connessioni ipotalamiche-ipofisarie si dividono in due fasci: il *fascio sopraottico-ipofisario*, costituito da fibre che si originano dai nuclei sopraottico e paraventricolare e arrivano alla neuroipofisi, e il *fascio tubero-ipofisario* che si origina dai nuclei tuberali e arriva all'adenopofisi.

Esistono inoltre fibre che partono dall'ipotalamo e arrivano al talamo e alla corteccia cerebrale, e fibre che dalla corteccia cerebrale vanno all'ipotalamo (fibre cortico-ipotalamiche) (3,4,16).

Subtalamo

Il subtalamo è un'area diencefalica sita al di sotto del solco ipotalamico. Inferiormente è in contatto con la calotta del mesencefalo, anteriormente e medialmente con l'ipotalamo. Presenta sia formazioni di sostanza grigia sia sistemi di fibre.

Nuclei del subtalamo

Il *nucleo subtalamico* si presenta a forma di lente biconvessa posta sulla parte mediale della capsula interna; è suddiviso in due parti: una *mediale*, con pochi neuroni, e una *laterale*, ricca di neuroni. È presente anche una suddivisione funzionale: una parte motoria rappresentata dalla porzione dorso-laterale, una parte associativa localizzata nella porzione ventro-mediale, e una parte

deputata alla sfera emozionale sita nella parte mediale. Lesioni del nucleo subtalamico determinano emiballismo. Il nucleo subtalamico è deputato al controllo dell'inizio della deambulazione. Le afferenze arrivano dal globo pallido costituendo il fascicolo subtalamico, mentre le efferenze, di natura glutamatergica, arrivano al globo pallido, alla **sostanza nera** e al nucleo peduncolo-pontino.

La *sostanza incerta* è posta tra il talamo e il nucleo subtalamico; arrivano a tale area fibre provenienti dalla corteccia centrale.

Ai nuclei del subtalamo appartengono anche il *nucleo del campo tegmentale* e il *nucleo dell'ansa lenticolare*, che vengono considerati stazioni intermedie tra globo pallido e formazione reticolare mesencefalica.

Le fibre che arrivano al nucleo subtalamico sono organizzate in fasci. Tra questi ricordiamo: il *fascio lenticolare* che dal globo pallido arriva al nucleo subtalamico; il *fascio subtalamico*, considerato il principale, costituito da fibre che dal globo pallido (porzione laterale e mediale) si portano al nucleo subtalamico; l'*ansa lenticolare* è un fascio che si origina sia dal putamen sia dalle due porzioni laterali e mediali del globo pallido e raggiunge il nucleo ventro-mediale ipotalamico. Inoltre i lemnischi mediale, spinale, trigeminale e la via gustativa centrale costituiscono il sistema di fibre ascendenti che attraversano l'area subtalamica per poi raggiungere il talamo. Le efferenze del nucleo subtalamico arrivano alla corteccia cerebrale e al tronco cerebrale (3,4).

Telencefalo

Rappresenta la zona dell'encefalo più voluminosa ed è suddivisa in due *emisferi cerebrali*. All'interno si trovano due cavità, i ventricoli laterali, che comunicano con il III ventricolo sito a livello del diencefalo.

Emisferi cerebrali: struttura e suddivisione

Sono costituiti da: (1) una regione più profonda di sostanza grigia, i *nuclei o gangli della base*, avvolti da fibre che costituiscono la sostanza bianca, in particolare da fibre che arrivano e fibre che partono da essa e da fibre associative che mettono in comunicazione i due emisferi formando una struttura di sostanza bianca detta *corpo calloso*; (2) una parte più esterna che forma la *corteccia cerebrale*.

Filogeneticamente, la corteccia cerebrale, come del resto quella cerebellare, viene suddivisa in *archipallium*, *paleopallium* e *neopallium*. Al primo appartiene l'ippocampo ventrale (archicortex), al *paleopallium* appartengono i lobi olfattivi, il setto e le circonvoluzioni ippocampali (paleocortex), mentre il *neopallium* è costituito da elementi sia associativi sia di proiezione e rappresenta la zona più estesa (neocortex).

La corteccia cerebrale presenta una serie di *scissure* e *solchi* che la suddividono rispettivamente in lobi e circonvoluzioni (Figura 2.13). Tra le scissure ricordiamo la *scissura di Rolando* o *centrale* che divide il lobo frontale dal parietale, la *scissura laterale* o *di Silvio* che divide il

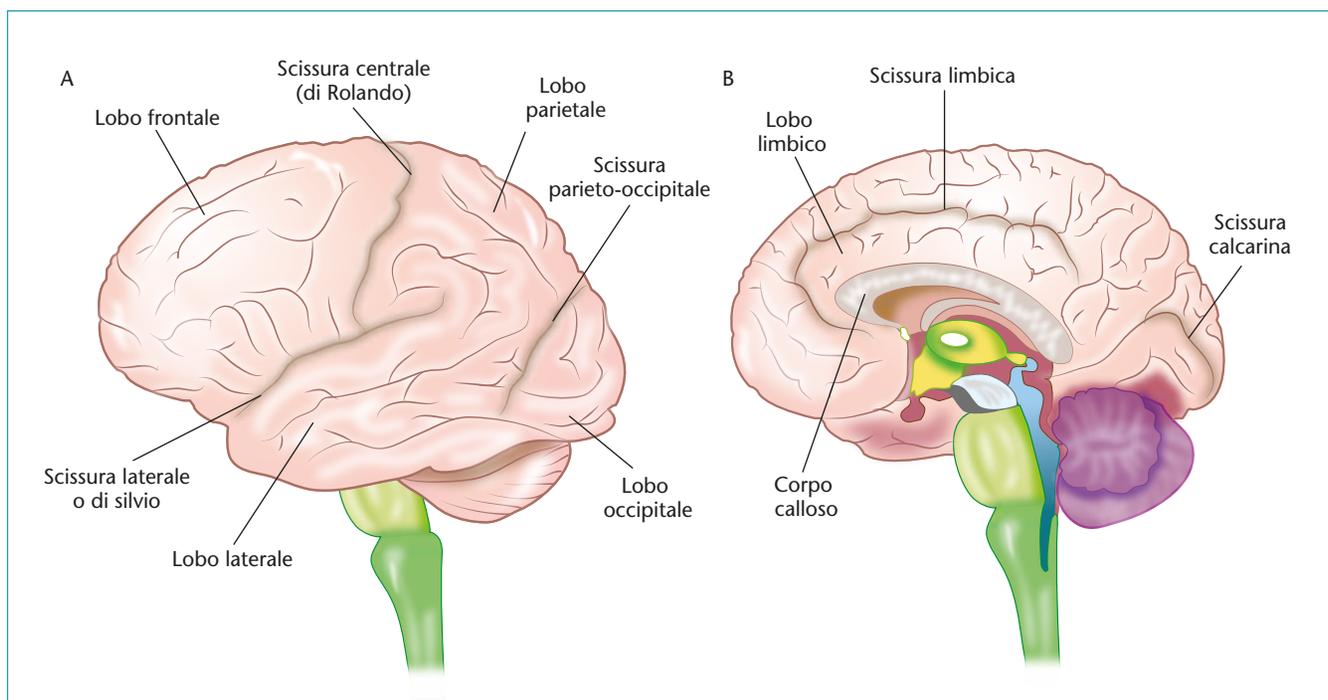


Figura 2.13 (A) Rappresentazione schematica del telencefalo visto lateralmente e (B) medialmente

lobo parietale dal temporale, la *scissura parieto-occipitale* che divide il lobo parietale dall'occipitale. Inoltre troviamo la *scissura limbica* a forma di C che circonda il corpo calloso e separa la circonvoluzione dell'ippocampo dal lobo temporale, e la *scissura calcarina* che si trova nel lobo occipitale parte mediale. Le scissure dividono ogni emisfero cerebrale in sei lobi: *lobo frontale*, *lobo parietale*, *lobo temporale*, *lobo occipitale*, *lobo dell'insula* (posto sotto la scissura laterale e non visibile esternamente) e *lobo limbico* (situato sopra il corpo calloso e visibile solo medialmente).

Gangli della base

I gangli o nuclei della base sono formazioni di sostanza grigia poste all'interno degli emisferi cerebrali che contraggono rapporti stretti con il talamo. Appartengono ai nuclei della base l'*amigdala*, il *claustr*o e lo *striato* (nuclei putamen, *globus pallidus* e caudato) (Figura 2.14).

L'*amigdala* (*complesso amigdaloid*e) è un nucleo a forma di mandorla e rappresenta la parte filogeneticamente più antica, posta nella zona dorso-mediale del lobo temporale. In essa si distinguono due gruppi nucleari: il *cortico-mediale*, posto nella zona posteriore

che comprende i nuclei amigdaloidi corticale, mediale e centrale, e il *complesso baso-laterale*, posto più lateralmente, che comprende i nuclei amigdaloidi laterale e basale. All'amigdala arrivano afferenze provenienti dai bulbi olfattivi e altri tipi di fibre che trasportano informazioni legate agli altri sensi. Le efferenze dell'amigdala arrivano all'ipotalamo mediante la *stria terminale*, che è costituita da un fascio di fibre di sostanza bianca. Esistono altre efferenze che raggiungono i tubercoli olfattivi, altre che raggiungono il talamo e altre ancora che arrivano alla corteccia temporale, all'insula, al putamen e al claustro. Dal punto di vista funzionale l'amigdala è coinvolta nel comportamento sessuale, negli stati di rabbia, di ansia e di paura.

Il *claustr*o è localizzato sotto la corteccia dell'insula, dalla quale è separato dalla capsula estrema, mentre la capsula esterna lo separa dal putamen: è pertanto suddiviso in due parti, la parte insulare e quella temporale. È costituito da una sottile lamina di sostanza grigia che prende contatti con la neocortex. La sua funzione resta a tutt'oggi sconosciuta, anche se gli si attribuisce la sede della coscienza.

Il *corpo striato* viene suddiviso dalle fibre della capsula interna in due grosse formazioni: il nucleo caudato e

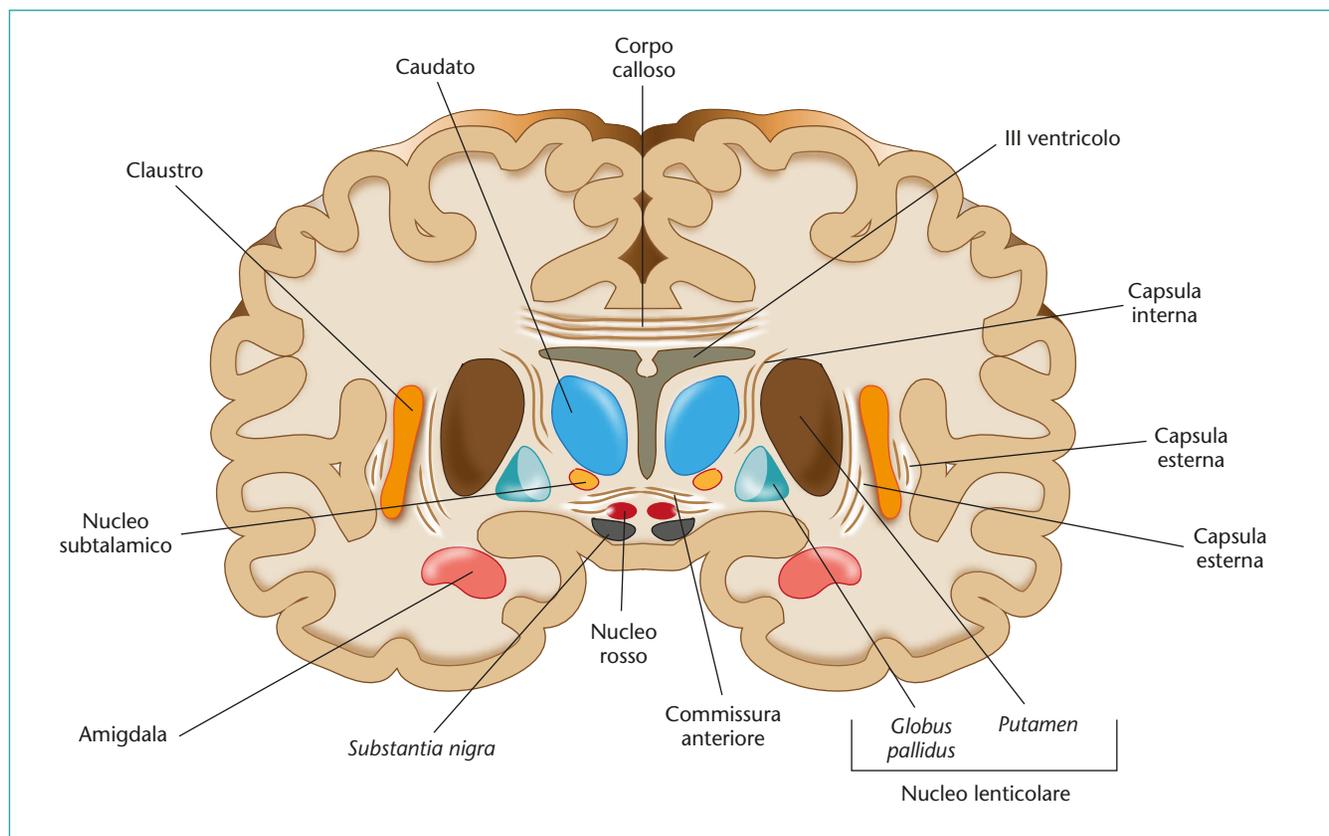


Figura 2.14 Rappresentazione schematica dei nuclei della base in sezione trasversa.

il nucleo lenticolare. Il *nucleo caudato* è in stretto rapporto con il ventricolo laterale, è formato da una testa, un corpo e una coda; i neuroni che lo costituiscono sono di natura dopaminergica. Il *nucleo lenticolare* ha forma appiattita e si divide in una porzione più grande, il putamen, e in una più piccola, il *globus pallidus*. Il putamen è un'area ricca di neuroni di forma sia multipolare sia fusata e di diverse dimensioni. Il *globus pallidus*, invece, presenta un numero minore di neuroni rispetto al putamen da cui è separato da una lamina midollare esterna. La funzione dello striato è quella di regolare i movimenti delicati, la postura e comunque il controllo di tutte le attività coinvolte nella locomozione. Pertanto il *globus pallidus* e i nuclei caudato e putamen vengono considerati elementi appartenenti al sistema extrapiramidale sottocorticale (3,4,17).

Connessioni

Per quanto riguarda le *afferenze*, ne esistono di due tipi: quelle che coinvolgono il putamen e il caudato (*connessioni dello striato*) e quelle che arrivano separatamente al *globus pallidus* (*connessioni del pallido*). Al primo gruppo appartengono:

- le *fibre cortico-striate*, che si dipartono da buona parte della corteccia del telencefalo, in particolare dall'area motrice e somestesica primaria e in minor quantità dall'area visiva: queste fibre sono per lo più ipsilaterali, anche se una piccola parte è controlaterale e raggiunge il lato opposto passando per il corpo calloso;
- le *fibre talamo-striate*, che hanno origine dal nucleo centromediano talamico e arrivano al putamen, mentre quelle che arrivano al caudato partono dai nuclei talamici mediano dorsale e dai nuclei intralaminari;
- le *fibre nigro-striate*, ricche di dopamina, che prendono origine dalla *substantia nigra* e raggiungono sia il putamen sia il caudato sia il *pallidus*.

Tra le *fibre efferenti dello striato* ricordiamo quelle che dal putamen e dal caudato arrivano al pallidus, quelle che dal putamen raggiungono la formazione reticolare e la *substantia nigra*, e altre che partono dal putamen e dal pallidus dirette ai nuclei subtalamici e talamici.

Le connessioni del *globus pallidus* hanno il compito di integrare le funzioni motorie. Al *globus pallidus* arrivano afferenze provenienti dal caudato e dal putamen (*sistema strio-pallidali*), dal nucleo subtalamico (*fibre subtalamo-pallidali*) e dalla *substantia nigra* (*fibre nigro-pallidali*) e dal talamo (*fibre talamo-pallidali*).

Le fibre efferenti del *globus pallidus* costituiscono una cospicua componente e vengono raggruppate in fasci distinti:

- il *fascio lenticolare* dal pallidus raggiunge, attraversando l'ansa lenticolare e la capsula interna, il subtalamo e la zona incerta;

- il *fascicolo talamico*, costituito da fibre pallido-talamiche che raggiungono i nuclei ventrali del talamo;
- il *fascicolo subtalamico*, formato da fibre che dai nuclei subtalamici arrivano al pallidus.

Tra le efferenze del pallidus ricordiamo le *vie discendenti* (o *pallido-segmentali*) dirette alla *substantia nigra*, al nucleo rosso, alla formazione reticolare del mesencefalo e al nucleo olivare inferiore bulbare (3,12,17).

Sostanza bianca del telencefalo

La sostanza bianca di ciascun emisfero cerebrale, localizzata sotto la corteccia, costituisce il *centro semiovale*; essa è composta da fibre di proiezione e fibre di associazione.

Le *fibre di proiezione* si suddividono in *fibre corticifughe*, che dalla corteccia proiettano al talamo, al corpo striato, ai nuclei mesencefalici, ai nuclei pontini e bulbari e al midollo spinale, e in *fibre corticipete* della via ottica, acustica e talamica formate da fibre che raggiungono la corteccia. Esistono altre fibre che per la loro distribuzione a ventaglio costituiscono una struttura chiamata *corona radiata*: da essa passano sia le fibre corticifughe sia quelle corticipete.

Alcune fibre, sia corticifughe sia corticipete, si uniscono e formano il sistema delle capsule, suddiviso in:

- *capsula interna*, posta tra il pallidus e il caudato: è la capsula più estesa ed è costituita da fibre che dalla corteccia raggiungono i nuclei pontini, l'ipotalamo, il talamo, la formazione reticolare e il midollo spinale;
- *capsula esterna*, situata tra il claustrum e il putamen: è costituita da fibre che dalla corteccia vanno verso il mesencefalo;
- *capsula estrema*, situata tra il lobo dell'insula e il claustrum: è formata da fibre di associazione tra la corteccia parietale, temporale e dell'insula (si veda Figura 2.14).

Le *fibre di associazione* si dividono in fibre di *associazione interemisferica* (radiazione callosa) che si originano dal corpo calloso e uniscono i due emisferi, destro e sinistro, e fibre di *associazione intraemisferica* (fibre arcuate) che possono essere brevi (associano circonvoluzioni vicine) e lunghe:

- le *fibre di associazione interemisferiche* (o commessurali) mettono in contatto aree corticali dei due emisferi e costituiscono il corpo calloso, il fornice, il setto pellucido e la commessura anteriore;
- le *fibre di associazione intraemisferiche* sono suddivise in: fascio uncinato (collega il lobo frontale al temporale), cingolo (costituisce la sostanza bianca del lobo limbico), fascio longitudinale superiore detto anche arcuato (unisce il lobo frontale con il lobo occipitale e temporale), fascio longitudinale inferiore (dal lobo occipitale raggiunge il temporale), fascio fronto-occipitale e fascio occipitale verticale (in cui le fibre

decorrono perpendicolarmente dal margine superiore del lobo occipitale a quello inferiore dello stesso).

Il *corpo calloso* è una struttura che ha raggiunto il massimo della sua estensione nella specie umana. Si visualizza scostando i due emisferi (superficie libera): lateralmente è a stretto contatto con i ventricoli laterali; anteriormente si incurva e si ingrossa formando il ginocchio che termina in una regione detta rostro le cui fibre connettono i lobi frontali formando un piccolo ferro di cavallo (*forceps minor*); posteriormente il corpo calloso forma lo splenio che connette i lobi occipitali, con un andamento a ferro di cavallo (*forceps major*). La superficie libera è ricoperta da uno strato grigio (*induseum griseum*) che insieme a due ispessimenti, la stria longitudinale laterale e la stria longitudinale mediale, forma l'*ippocampo dorsale*.

Sotto il corpo calloso si trova il *fornice* (o trigono) che si adagia sul terzo ventricolo; esso è costituito da due metà simmetriche unite da una lamina triangolare detta *corpo del fornice*. Posteriormente il fornice è sovrapposto dal corpo calloso, poi anteriormente si va distaccando e diventa una lamina bianca, il *setto pellucido*, separato dal corpo calloso. Lateralmente il corpo del fornice emette due cordoni costituiti da fibre con decorso longitudinale dirette anteriormente, dette *colonne del fornice*, che arrivano dopo avere attraversato l'ipotalamo ai corpi mammillari omolaterali. Posteriormente si trovano invece due formazioni bianche, le gambe del fornice, che incurvandosi verso il basso arrivano all'ippocampo. Il setto pellucido, lamina triangolare che separa il fornice dal corpo calloso, è formato da due lamine sottili costituite sia da sostanza bianca sia da sostanza grigia (quest'ultima rappresenta i nuclei del setto). Lo spazio che intercorre tra le due lamine è detto *cavità del setto*.

La *commissura anteriore* è un fascio di sostanza bianca che mette in comunicazione i due lobi temporali e i sistemi olfattivi. Anteriormente connette i nuclei e i bulbi olfattivi di un lato con i controlaterali, mentre la parte posteriore, di maggiori dimensioni, attraversa il *pallidus* e il *putamen* sino ad arrivare alla capsula esterna e quindi al claustrum (4).

Corteccia cerebrale

La corteccia cerebrale riveste tutta la superficie degli emisferi ed è costituita da sostanza grigia. La sua struttura cambia secondo le aree che riveste: nell'*archipallium* e nel *paleopallium* lo spessore è sottile ed è costituita da neuroni dello stesso tipo (allocortex), mentre nel *neopallium* presenta uno spessore maggiore (isocortex con sei strati).

L'*allocortex* è formata da due strati: lo *strato granulare* e lo *strato piramidale*, e corrisponde all'ippocampo.

In particolare si osservano una prevalenza dello strato granulare nel giro dentato dell'ippocampo e una prevalenza dello strato piramidale nel corno di Ammone (nell'ippocampo).

L'*isocortex* si suddivide in due aree: la *corteccia omotipica*, con strati rappresentati nella stessa maniera, e la *corteccia eterotipica*, dove alcuni strati sono maggiormente rappresentati rispetto ad altri. In quest'ultima si distinguono la *corteccia agranulare* (neuroni piramidali: aree motrici) e quella *granulare* (granuli: aree somestetiche). Altra classificazione si basa sul destino degli assoni: *neuroni corticifughi* il cui neurite lascia la corteccia, e *neuroni corticicoli* i cui assoni mettono in comunicazione strati limitrofi all'interno della corteccia stessa.

Tipi di cellule

Le *cellule piramidali* sono di dimensioni variabili con soma a forma piramidale (Figura 2.15), presentano un polo superficiale da cui si diparte un dendrite che si sfocchia formando dei ciuffi, mentre dal polo profondo si dipartono alcuni dendriti ricchi di spine e un assone mielinizzato. Questo assone nelle piramidali di grandi dimensioni si allontana dalla corteccia e raggiunge le aree sottocorticali emettendo anche collaterali, mentre gli assoni delle cellule di piccole dimensioni rimangono negli strati più superficiali della corteccia. Tutti i neuroni piramidali sono glutamatergici e quindi eccitatori.

Le *cellule polimorfe* sono localizzate in una zona più profonda e presentano le stesse caratteristiche morfologiche delle piramidali, anche se con forma variabile; il loro assone si allontana dalla corteccia come quello delle piramidali. I *granuli* sono cellule di piccole dimensioni sparse nei vari strati, e presentano assoni sia corticifughi sia corticicoli.

Le *cellule di Martinotti* presentano un soma di notevoli dimensioni con un'arborizzazione dendritica densa ma breve. Il loro assone sale verso la corteccia dove si divide in due rami che decorrono parallelamente alla superficie corticale creando circuiti associativi.

Le *cellule fusiformi* presentano un doppio pennacchio dendritico e un corpo ovoidale orientato in senso perpendicolare rispetto alla superficie della corteccia; il loro assone decorre orizzontalmente.

Le *cellule orizzontali* e le *cellule del II tipo di Golgi* presentano assoni brevi che si ramificano in prossimità del soma.

Le *cellule marginali* si trovano in posizione superficiale e il loro assone, pur non lasciando la corteccia, si porta in zone più profonde.

I diversi tipi cellulari sopra descritti si trovano distribuiti nella isocortex che presenta sei strati (si veda Figura 2.15). Partendo dallo strato più superficiale abbiamo:

1) lo *strato molecolare o plessiforme* povero di neuroni (cellule marginali e cellule del II tipo di Golgi),

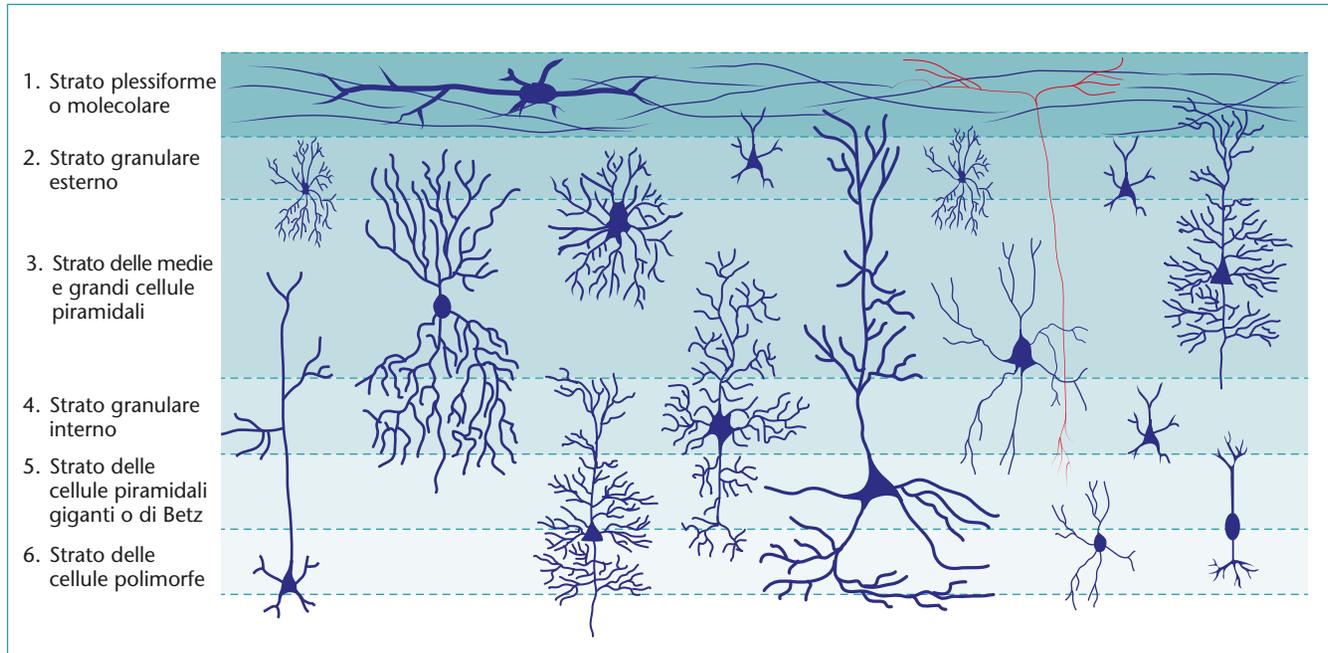


Figura 2.15 Rappresentazione citoarchitettoneca degli strati della corteccia cerebrale.

- 1) attraversato da assoni che provengono dagli strati profondi;
- 2) lo *strato granulare esterno* che accoglie piccole cellule piramidali, cellule del Martinotti, granuli e neuroni del II tipo di Golgi;
- 3) lo *strato delle medie e grandi cellule piramidali* che è una continuazione del precedente con gli stessi tipi di cellule;
- 4) lo *strato granulare interno*, ricco di granuli, cellule del Martinotti e neuroni del II tipo di Golgi;
- 5) lo *strato delle cellule piramidali giganti o di Betz* che si trovano nell'area motoria;
- 6) lo *strato delle cellule polimorfe* che accoglie cellule fusiformi, cellule del Martinotti e neuroni corticicoli.

Secondo il decorso delle fibre mieliniche, si possono distinguere *fasci tangenziali*, che decorrono parallelamente alla corteccia, e *fasci radiali* che decorrono perpendicolarmente a essa.

L'isocortex presenta diversità strutturali per cui è possibile suddividerla in cinque settori:

- 1) *corteccia agranulare*, sita nella circonvoluzione pre-centrale, costituita da neuroni piramidali (prevalentemente strati II, III, IV, V);
- 2) *corteccia frontale* che presenta gli strati piramidali (III e V) più sviluppati rispetto ai granuli (II e IV);
- 3) *corteccia parietale* con gli strati dei granuli (II e IV) più sviluppati rispetto ai piramidali;
- 4) *corteccia polare* che presenta gli strati dei granuli (II e IV) più sviluppati rispetto a quelli piramidali e si

trova in corrispondenza dei poli frontali e occipitali;

- 5) *corteccia granulare*, tipica dell'area visiva, costituita da una notevole quantità di granuli.

Aree corticali

Vengono suddivise in *aree associative*, *aree sensitive* e *aree motorie*, anche se questa suddivisione è altamente schematica perché non è raro che in un'area motoria possano arrivare fibre sensitive e viceversa.

Le *aree associative* sono costituite da sistemi di fibre con funzione di integrazione che coinvolge i due emisferi, ma con prevalenza su uno di essi che diventa l'emisfero dominante. Si distinguono due aree associative: *area associativa sita nel lobo frontale* (aree 9, 10 e 11) coinvolta nei processi mentali superiori e nella personalità dell'individuo, e *area associativa sita nel lobo parietale* (aree 5 e 7) coinvolta nel riconoscimento degli stimoli sensitivi.

Le *aree sensitive* ricevono le informazioni delle sensibilità generale e specifica che dopo essere passate dal talamo raggiungono la corteccia nei lobi parietale, temporale e occipitale (fascio talamo-corticale). Per la sensibilità generale si distinguono aree somato-sensitive primarie, secondarie e terziarie:

- *area somato-sensitiva primaria* (area 3, 2 e 1): riceve informazioni dal talamo. Si trova nella circonvoluzione post-centrale lobo parietale e si estende sino alla circonvoluzione pre-centrale lobo frontale. In essa sono localizzate le diverse parti del corpo, il

cosiddetto *homunculus sensitivus* (Figura 2.16). La sua funzione è correlata alla localizzazione spaziale delle sensazioni;

- *area somato-sensitiva secondaria*: si trova nella parte superiore del solco di Silvio. In essa la rappresentazione delle varie parti del corpo appare speculare rispetto all'area primaria;
- *area somato-sensitiva terziaria*: si trova nel giro parietale superiore posta davanti all'area 4 e rappresenta solo alcune parti del corpo, il capo e il tronco.

Gli stimoli visivi arrivano al lobo occipitale dove si distinguono tre aree: l'*area visiva primaria* (area 17) in prossimità della scissura calcarina, l'*area visiva secondaria* (area 18) localizzata anteriormente alla primaria, e l'*area visiva terziaria* (area 19) ancora più avanti. Le aree secondarie e terziarie sembrano essere coinvolte nei riflessi visivi.

L'*area acustica primaria* (area 41) si trova nel giro temporale superiore, riceve le fibre genicolo-temporali, segue l'area acustica secondaria (area 42), che ha un ruolo nella comprensione del linguaggio, e l'area acustica terziaria posta dietro la secondaria. In tutte le aree acustiche si trova rappresentata la coclea.

L'*area gustativa* (area 43) è localizzata a livello dell'insula; se stimolata produce nausea e vomito.

L'*area olfattiva* è sita nel lobo limbico in prossimità delle aree piriforme ed entorinale. La via olfattiva non

passa dal talamo essendo il nervo olfattivo un nervo cranico.

Le *aree motorie*: le vie efferenti (vie corticifughe) hanno origine da diverse aree corticali e la loro funzione è quella di attivare e controllare i movimenti volontari e anche le attività riflesse. Queste efferenze formano sistemi di fasci di fibre, tra i quali ricordiamo i *fasci cortico-spinale, cortico-talamico, cortico-reticolare, cortico-pontino e cortico-nucleare*; quest'ultimo coinvolge alcuni nuclei, come i nuclei della base, i nuclei della *substantia nigra*, il nucleo rosso, il gracile e il cuneato. Nel lobo frontale troviamo l'*area motoria primaria* (area 4), che presenta la struttura agranulare ricca di neuroni piramidali giganti (di Betz) da cui prende origine la via piramidale (fascio cortico-spinale) la cui funzione è quella di dare origine ai movimenti. Sempre su quest'area sono distinguibili le diverse parti del corpo, il cosiddetto *homunculus motorius* (si veda Figura 2.16) o mappa somatotopica, già descritto nell'area somato-sensitiva primaria. Davanti all'area 4 si trova un'altra area, l'*area premotrice* (area 6) deputata a particolari movimenti come la rotazione del capo, degli occhi e del tronco, o movimenti estensori e flessori degli arti controlaterali. Anteriormente all'area 6 c'è l'*area motoria supplementare* responsabile della postura.

Tra le aree motorie ricordiamo le *aree del linguaggio*, primaria (del Broca; 44 e 45) e secondaria (del Wernicke)

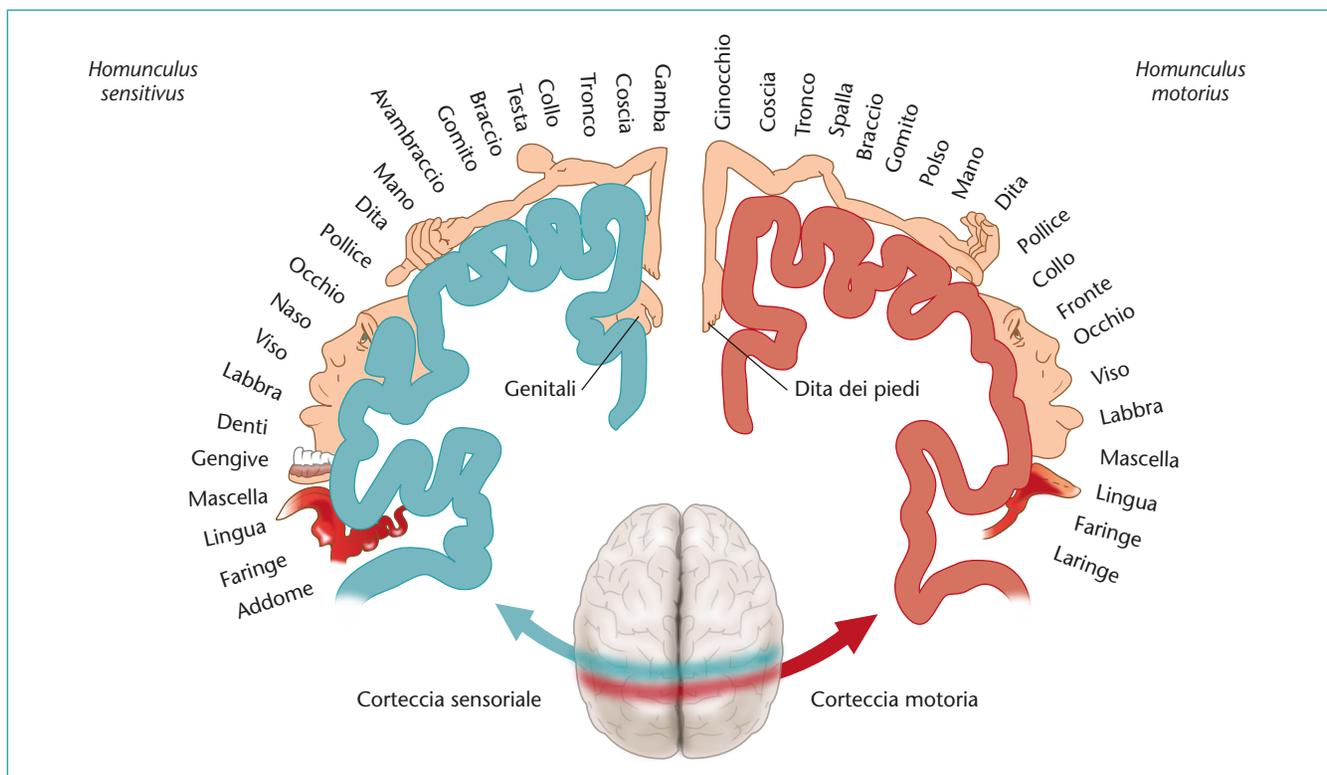


Figura 2.16 Rappresentazione somatotopica dell'*Homunculus sensitivus* e *motorius*.

sita posteriormente alla primaria. Una lesione all'area di Broca determina afasia, mentre l'area di Wernicke ha un ruolo associativo. Nell'uomo l'emisfero dominante per quanto concerne il linguaggio è il sinistro, anche nei mancini (3,4,18,19).

Sistema limbico

Questa struttura comprende alcune regioni telencefaliche e diencefaliche filogeneticamente antiche deputate a funzioni della sfera emotiva (rabbia, paura, emozioni, memoria). È costituito da sostanza grigia che assume la forma di una "C" (Figura 2.17). Anatomicamente il sistema limbico comprende il *lobo limbico* (giro del cingolo, circonvoluzione dell'ippocampo e formazione dell'ippocampo), ma a esso vengono attribuite anche altre aree, quali l'*amigdala*, il *claustr*, i *nuclei settali*, i *nuclei ipotalamico e talamico*. Il *giro del cingolo* (o circonvoluzione del corpo calloso) si trova tra il seno del corpo calloso e la scissura limbica.

Ippocampo

La sua forma ricorda il cavalluccio marino, da cui il nome. È suddiviso in due regioni: ippocampo dorsale o superiore e ippocampo ventrale o inferiore.

L'*ippocampo dorsale*, poco sviluppato nell'uomo, è posto superiormente al corpo calloso, dove forma una

sottilissima stria di sostanza grigia, l'*indusium griseum* (si veda Figura 2.17), nel cui spessore si trovano due fasci di sostanza bianca, le strie longitudinali mediale e laterale.

L'*ippocampo ventrale* (ippocampo), molto sviluppato nei primati, è formato da due formazioni: il giro dentato e il corno di Ammone (Figura 2.18). Il *giro dentato* appare come una C aperta che da una estremità si continua con il corno di Ammone. Esso è formato da tre strati: lo strato superficiale molecolare, lo strato intermedio granulare, e lo strato profondo con cellule polimorfe. Il *corno di Ammone* presenta una forma "arrotolata" (che ricorda le corna del dio egiziano Amon) e si continua con la circonvoluzione dell'ippocampo (*subiculum*). In questa regione si distingue anche una formazione bianca, nastriforme, detta *fimbria del fornice*. Il corno di Ammone è suddiviso in quattro regioni (CA1, CA2, CA3, CA4) costituite da neuroni piramidali, e comprende diversi strati: l'ependima, l'alveo (costituito da sostanza bianca), lo strato *oriens* (contiene un particolare tipo di neuroni inibitori, i neuroni dei canestri), lo strato piramidale (contiene grossi neuroni piramidali), lo strato radiato, lo strato lacunoso e il più profondo, lo strato molecolare. Dallo strato granulare del giro dentato si dipartono le fibre muscoidi glutamatergiche che raggiungono lo strato piramidale del corno di Ammone, ove contraggono sinapsi con i neuroni piramidali.

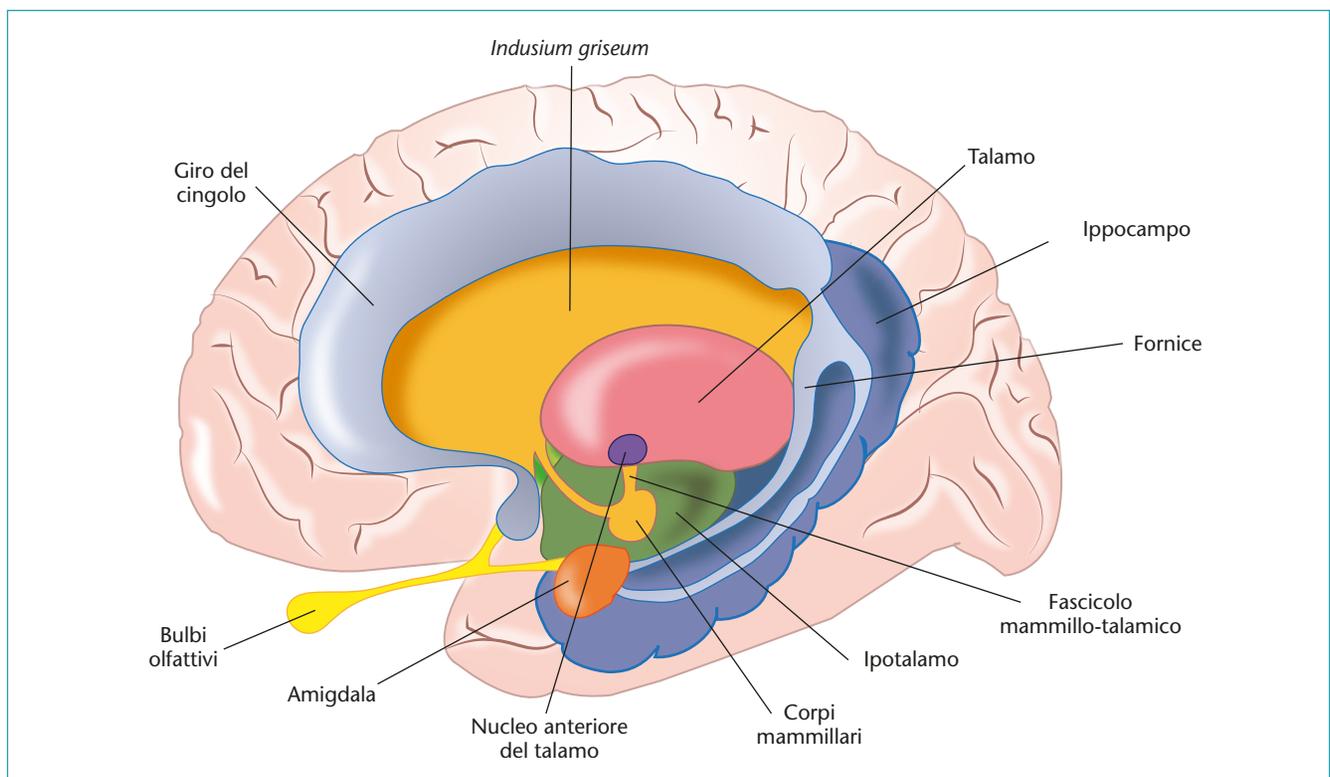


Figura 2.17 Rappresentazione schematica delle strutture appartenenti al sistema limbico.

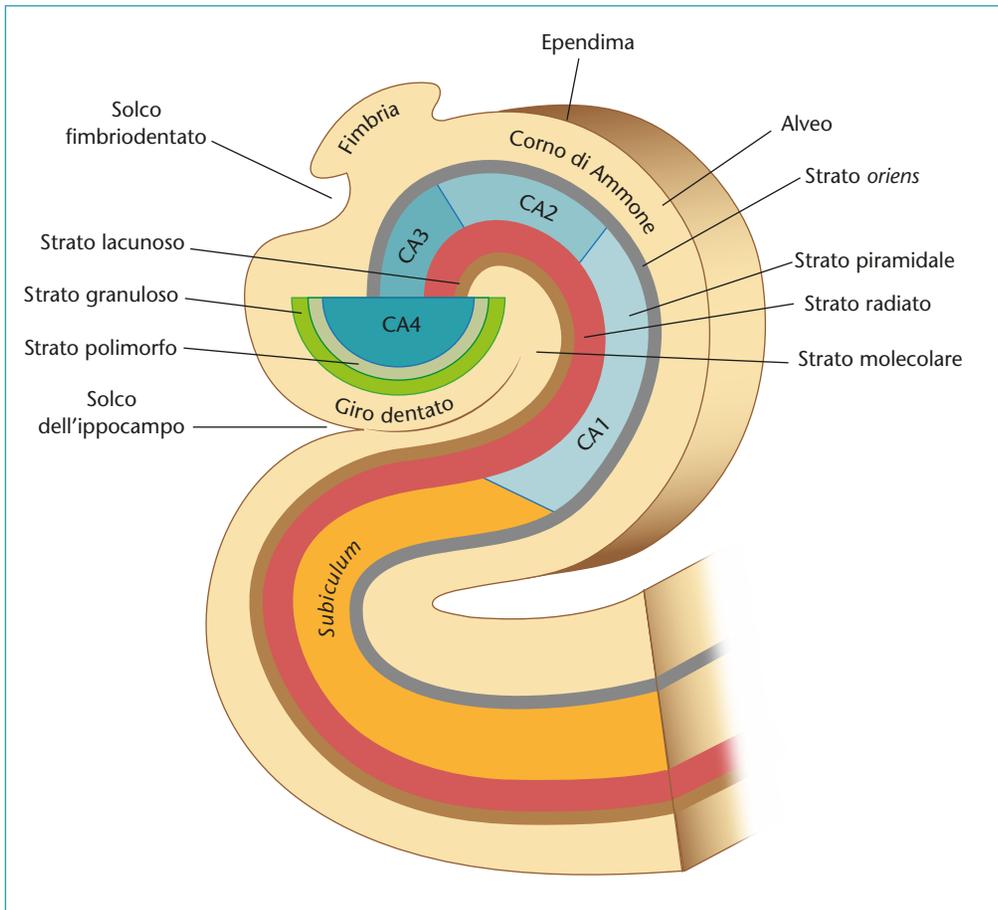


Figura 2.18 Rappresentazione schematica delle strutture ippocampali.

Le fibre efferenti dell'ippocampo si dipartono dalle cellule piramidali del corno di Ammone e raggiungono aree del sistema limbico e aree sottocorticali, come l'area preottica, i nuclei anteriori del talamo, i nuclei ipotalamici e zone della formazione reticolare mesencefalica (3,20).

SISTEMA NERVOSO PERIFERICO

La funzione del sistema nervoso periferico (SNP) è quella di connettere il SNC con la periferia: in esso distinguiamo una parte somatica che innerva cute, ossa, articolazioni e muscoli, e una parte viscerale (*sistema nervoso simpatico* o viscerale) che innerva visceri, ghiandole e vasi, suddiviso in *sistema ortosimpatico* e *sistema parasimpatico*.

Gli organi del SNP sono i *nervi* e i *gangli*: i primi hanno forma di lunghi cordoni, i secondi sono ammassi di corpi cellulari di neuroni sensitivi. I nervi sono suddivisi in *nervi spinali* e *nervi cranici* o encefalici (21). Inoltre appartengono al SNP anche due lunghi cordoni decorrenti lateralmente alla colonna vertebrale, le *catene latero-vertebrali* formate da gangli. Al SNP appartiene anche il sistema enterico che innerva il tratto gastrointestinale.

Nervi e gangli

I *nervi* hanno forma a nastro e sono di colore biancastro; decorrono per lo più parallelamente ai vasi nel connettivo che circonda gli organi per poi penetrare all'interno di questi. I nervi sono costituiti da fasci di fibre nervose. Vengono classificati, da un punto di vista funzionale, in *nervi motori somatici* e *nervi motori viscerali* le efferenze, e in *nervi sensitivi somatici* e *nervi sensitivi viscerali* le afferenze. Quando i nervi sono costituiti da entrambe le subunità, sensitiva e motoria, formano i *nervi misti*.

Le fibre nervose sono circondate dalle cellule di Schwann (CS), pertanto si distinguono in *amieliniche* (prive di mielina) dove una singola CS circonda più assoni, e *mieliniche* (fibre rivestite di mielina) dove ogni singola fibra presenta un avvolgimento di mielina. Secondo il loro diametro che risulta variabile, le fibre nervose vengono classificate in fibre di classe *A* (diametro 1-20 μm) e *B* (diametro 1-3 μm), mieliniche, e fibre della classe *C*, amieliniche (con diametro 0,5-1,5 μm e velocità di conduzione lenta sensibilità dolorifica e termica). Le sostanze nutritive utili alle fibre nervose sono garantite da un sistema microvascolare

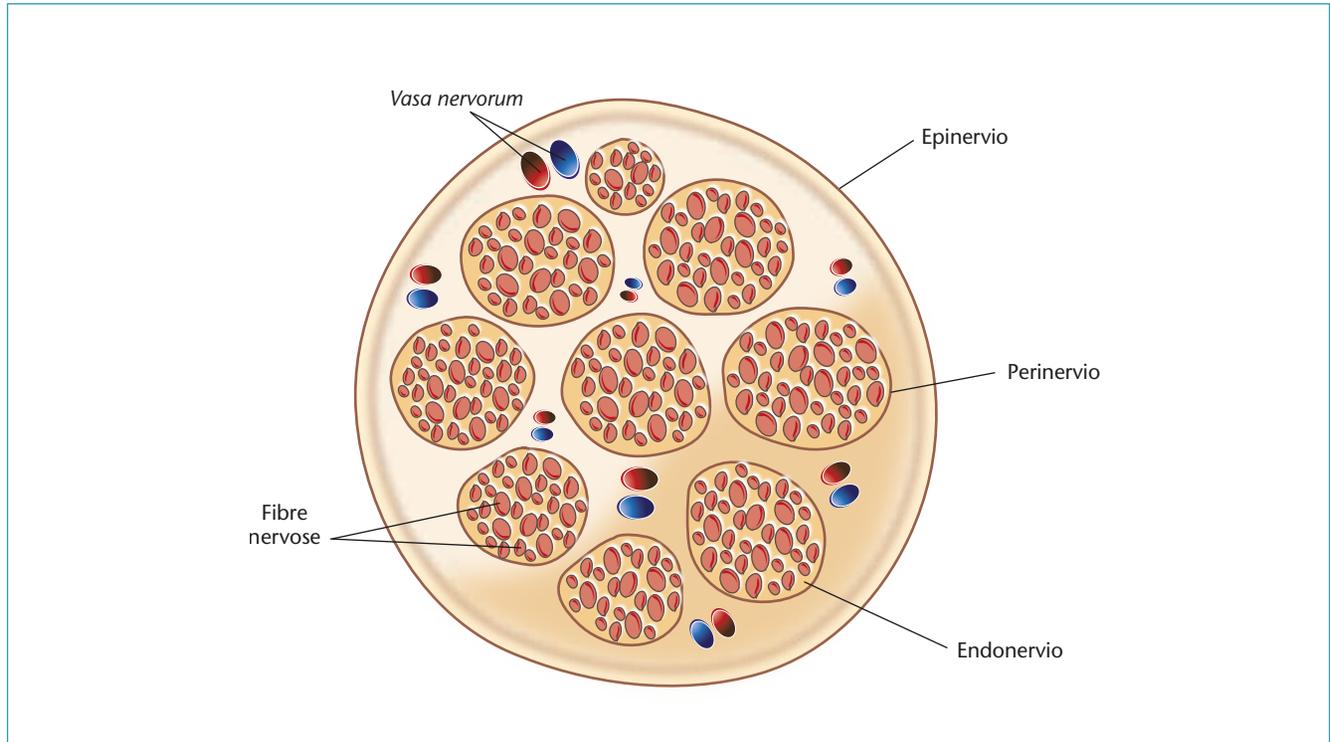


Figura 2.19 Rappresentazione schematica della struttura di un nervo in sezione trasversa

(*vasa nervorum*). I nervi presentano tre avvolgimenti di natura connettivale: l'epinervio, il perinervio e l'endonervio (Figura 2.19).

I *gangli* sono formazioni globose di colore grigio che decorrono lungo i nervi; al loro interno si trovano: i *neuroni*, il cui breve prolungamento si biforca in due rami cellule a T, le *cellule satelliti* (amfociti) di forma appiattita che regolano gli scambi di sostanze nutritizie, e i *vasi linfatici e sanguiferi*.

Nervi spinali

I nervi spinali, essendo composti da una componente sensitiva e da una motoria, sono tutti nervi misti (Figura 2.20). Ciascun nervo è costituito da: una *radice dorsale* (posteriore), formata da fibre sensitive somatiche e viscerali il cui soma si trova all'interno del ganglio spinale, che penetra a livello del corno posteriore del midollo spinale; una *radice ventrale* (anteriore), formata da fibre motorie somatiche (innervano i muscoli volontari) e viscerali (innervano le ghiandole e la muscolatura liscia) che fuoriescono dal corno ventrale del midollo spinale. I nervi spinali sono disposti in fila, uno dietro l'altro seguendo una *metameria*; le radici dorsali innervano con le loro fibre sensitive un'area cutanea, il *dermatomero*, mentre quelle ventrali con le fibre motorie innervano dei distretti muscolari, i *miomeri*.

I nervi spinali sono in tutto 31 paia, numerati secondo il livello del forame intervertebrale dal quale emergono,

e si suddividono secondo il seguente ordine: 8 paia di nervi cervicali, 12 paia di nervi toracici, 5 paia di nervi lombari, 5 paia di nervi sacrali, e 1-3 paia di nervi coccigei (atrofici nell'uomo). Una volta fuoriuscito dal forame intervertebrale, il nervo spinale si divide in due rami, il *ramo anteriore* (radice ventrale) e il *ramo posteriore* (radice dorsale), ambedue misti (Figura 2.21). I rami posteriori tendono a distribuirsi ai vari distretti indipendentemente, mentre i rami anteriori si anastomizzano (tranne i nervi toracici) e formano i *plexi*: plesso cervicale, plesso brachiale, plesso lombo-sacrale, plesso pudendo e plesso coccigeo.

Tra i rami posteriori ricordiamo quelli cervicali (8 nervi) che innervano la muscolatura della testa e del collo, i rami posteriori dei nervi toracici (12 nervi) che innervano la zona muscolare toracica, quelli lombari e sacrali che innervano i distretti lombo-sacrali. I rami anteriori, come riportato sopra, formano i plessi.

Il *plesso cervicale* raccoglie la sensibilità proveniente dalla zona del collo; tra i nervi che lo compongono ricordiamo il nervo frenico, un nervo molto lungo che raggiunge il diaframma dove si sfocia nel plesso celiaco.

Il *plesso brachiale* è costituito da tre tronchi, tronco superiore, tronco medio, tronco inferiore, i quali si portano in basso, ognuno suddividendosi in un *ramo anteriore* e un *ramo posteriore*. I rami anteriori dei tronchi superiori e medi si uniscono per formare il *tronco secondario superiore* o laterale, mentre il tronco primario

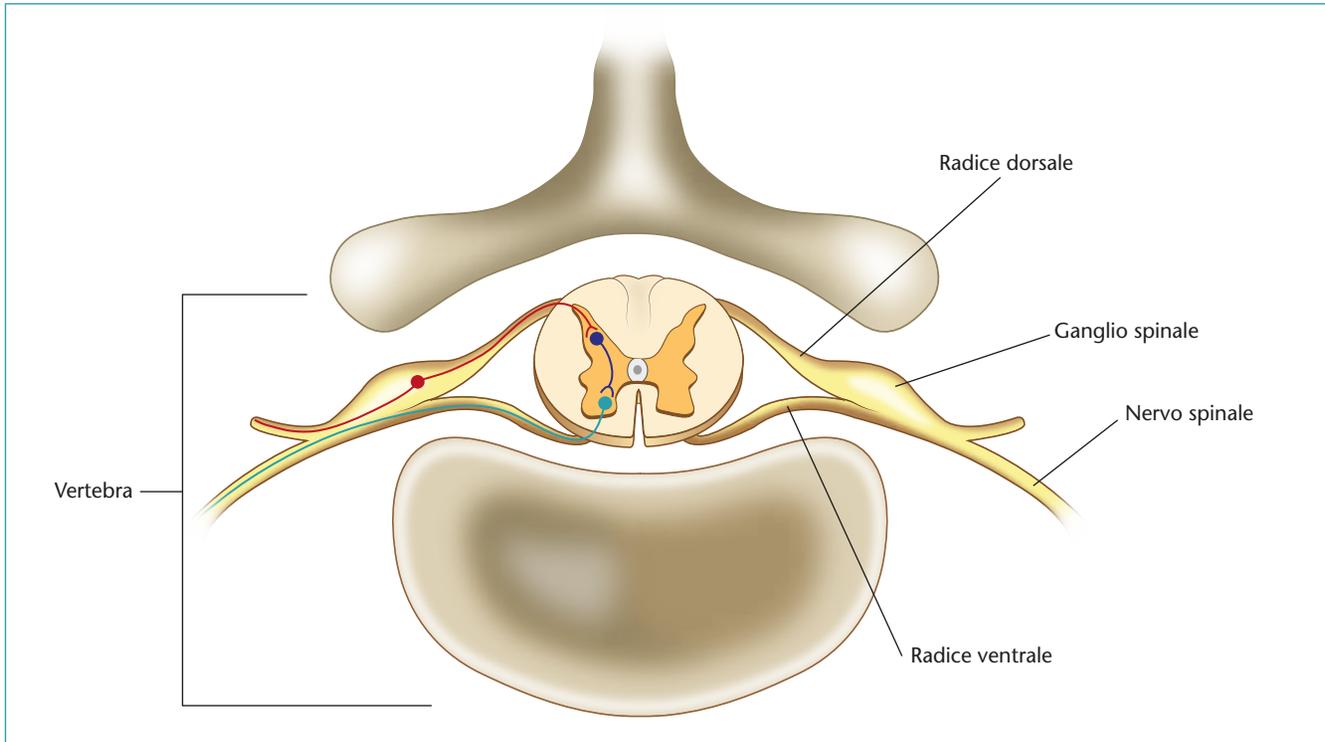


Figura 2.20 Rappresentazione schematica di un nervo spinale in uscita dal midollo spinale.

inferiore che decorre parallelamente all'arteria ascellare forma il *tronco secondario inferiore* o mediale. I rami posteriori dei tre tronchi primari si uniscono e formano il *tronco secondario posteriore*. Dai tronchi secondari si dipartono i *rami collaterali e terminali*: rami collaterali innervano la muscolatura cingolo-scapolare e la cute della spalla (nervo toracico lungo, sottoscapolare, dorsale della scapola, toraco-dorsale, ascellare); i rami terminali sono responsabili del movimento e della sensibilità dei muscoli degli arti superiori. A questo gruppo appartengono:

- *nervo radiale*, nervo misto, estensore; a livello del gomito si divide in due rami, il ramo posteriore e il ramo superficiale che arriva sino al dorso della mano;
- *nervo muscolo-cutaneo*: prende origine dal cavo ascellare, è responsabile dei movimenti flessori del gomito, scende in basso verso il bicipite del braccio sino ad arrivare con la sua parte terminale (*nervo cutaneo laterale dell'avambraccio*) alla cute dell'avambraccio;
- *nervo mediano*: nervo misto, che parte dal cavo ascellare, decorre lungo il muscolo bicipite brachiale per poi proseguire verso l'avambraccio sino al polso dove a volte la compressione del nervo è responsabile della sindrome del tunnel carpale;
- *nervo ulnare*: nervo misto, decorre nel braccio in prossimità del bicipite brachiale, poi attraversa il gomito e va verso l'avambraccio e arriva sino al carpo; la parte motoria innerva il muscolo ulnare e nella mano il

muscolo palmare, l'adduttore e il flessore del pollice, mentre la parte sensitiva innerva la cute della mano;

- *nervi cutanei mediali del braccio e dell'avambraccio*: sono nervi sensitivi e dal cavo ascellare vanno al gomito il primo, mentre il secondo si divide in due rami e arriva sino all'avambraccio.

I *nervi intercostali* sono nervi misti corrispondenti ai rami anteriori delle dodici paia di nervi toracici che innervano la cute della parete toraco-addominale e la muscolatura del torace. In realtà il dodicesimo nervo viene detto nervo sottocostale perché localizzato sotto l'ultima costa.

Il *plexo lombare* è costituito da rami collaterali lunghi, brevi e terminali.

È caratterizzato dal fatto che ciascun nervo lombare si anastomizza con il sovrastante e con il sottostante. Tra i rami collaterali lunghi ricordiamo:

- il *nervo ileo-ipogastrico*: è responsabile dell'innervazione dei muscoli trasverso e obliquo interno, del muscolo retto dell'addome, e invia rami ai muscoli della parete addominale e alla cute della regione dei glutei e dei genitali;
- il *nervo ileo-inguinale*: dà origine al nervo genitale che innerva la zona inguinale e lo scroto o le grandi labbra;
- il *nervo genito-femorale*: nel suo decorso si divide in due rami, il *ramo lombo-inguinale* che innerva il muscolo iliaco, il trasverso e la cute del triangolo femorale,

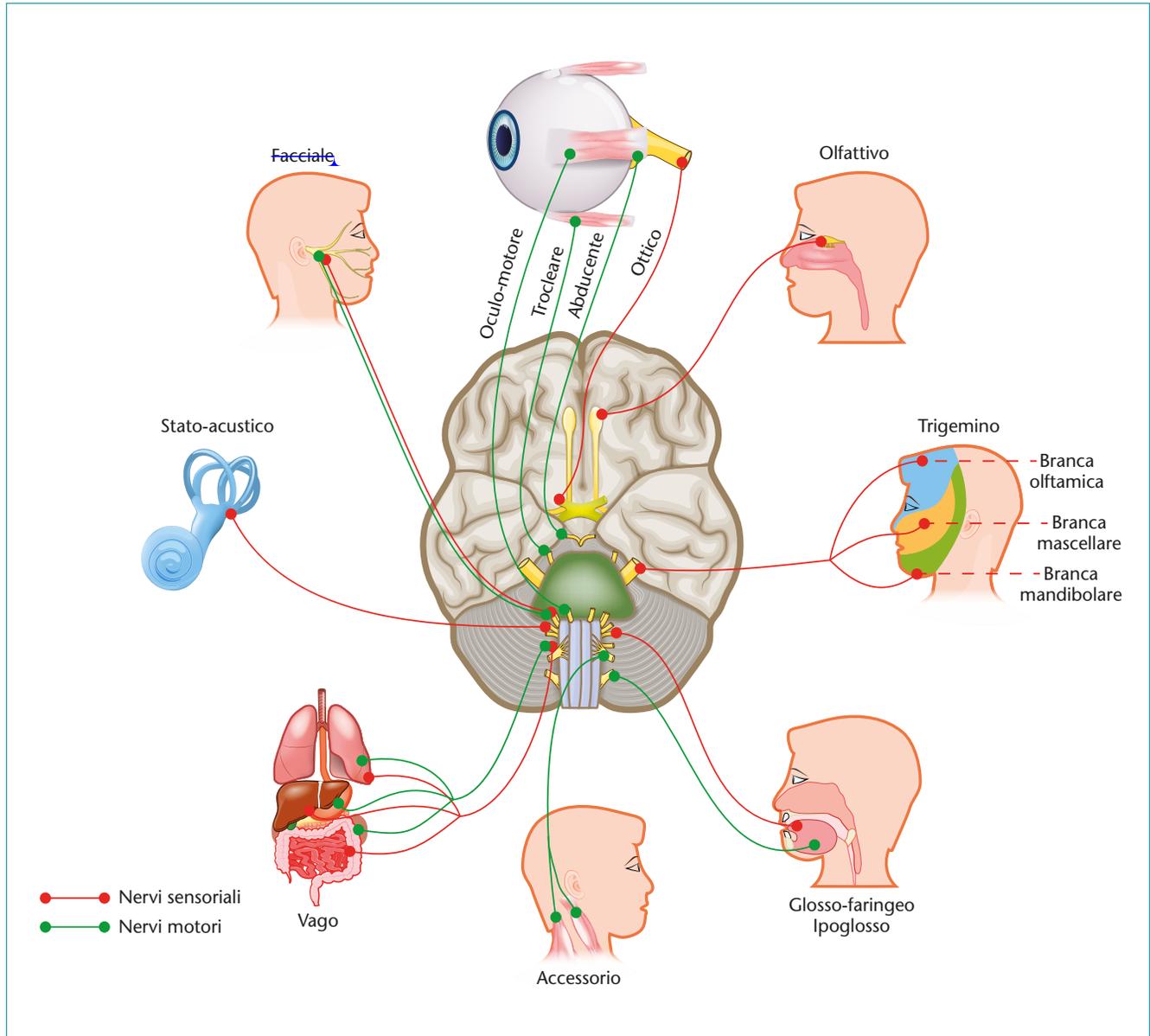


Figura 2.21 Rappresentazione dei nervi cranici e dei distretti da questi innervati.

e il *nervo spermatico esterno* che manda collaterali sensitive alla cute della coscia, dello scroto e della grandi labbra;

- il *nervo cutaneo laterale del femore*: è un nervo sensitivo che innerva la cute del gluteo e la regione superiore del femore;
- il *nervo otturatore*: è un nervo misto, innerva i muscoli adduttori e la cute della coscia, alcuni rami sensitivi arrivano ai muscoli dell'anca e del ginocchio;
- il *nervo femorale* (o crurale): è il nervo più grosso del plesso lombare. A livello della coscia emette dei rami collaterali che innervano i muscoli psoas, iliaco e pettineo e dei rami terminali: il *nervo muscolo*

cutaneo-mediale che innerva l'adduttore, il pettineo e la regione superiore della coscia e il *nervo muscolo cutaneo-laterale* che innerva il sartorio e la cute della regione anteriore e mediale della coscia, entrambi nervi superficiali. Tra i nervi profondi troviamo: il *nervo safeno* che è il ramo più lungo del nervo femorale, sensitivo, innerva la cute postero-mediale della coscia e la zona patellare del ginocchio sino ad arrivare alla superficie dorso-mediale del piede, e il *nervo del muscolo quadricipite* che è un nervo motore che innerva i quattro componenti del quadricipite: i muscoli retto anteriore, vasto mediale, vasto laterale e vasto intermedio.

Il *plesso sacrale* ha forma triangolare con base rivolta verso l'osso sacro e apice rivolto verso il grande forame ischiatico. Presenta dei rami collaterali: i nervi della cintura pelvica e i nervi della parte libera della estremità inferiore. Al primo gruppo appartengono il *nervo del muscolo otturatore interno*, il *nervo del grande gluteo* e il *nervo del muscolo piriforme*. Al secondo gruppo appartengono il *nervo ischiatico* e il *nervo cutaneo posteriore della coscia* quest'ultimo è un nervo sensitivo che innerva la cute dello scroto o delle grandi labbra, la cute del poplite, e quella della parte superiore della coscia (e della gamba). Il *nervo ischiatico* o *sciatico* (un nervo misto) è il ramo terminale del plesso ed è il nervo più lungo del corpo umano. Una volta uscito dal forame ischiatico decorre in profondità nella regione posteriore della coscia innervando i muscoli adduttori e posteriori della coscia oltre a un ramo che serve per l'articolazione del ginocchio. I suoi rami terminali si dividono in nervo tibiale e nervo peroneo comune. Il *nervo tibiale* decorre nella losanga del popliteo sino alla porzione posteriore della gamba per poi raggiungere il collo del piede e quindi il calcagno dove si divide nei due *nervi plantare mediale* (sensitivo della cute della pianta del piede sino all'alluce) e *laterale* (innerva i muscoli laterali della pianta del piede e il muscolo abducente dell'alluce). Il *nervo peroneo comune* decorre medialmente al muscolo bicipite femorale, raggiunge il perone, innerva il polpaccio e il muscolo tibiale anteriore, quindi si biforca in due rami, uno più superficiale e uno più profondo. Il ramo superficiale arriva al dorso del piede e innerva la cute del II e III spazio metatarsico; il ramo profondo innerva i muscoli peronei e i muscoli anteriori della gamba sino ad arrivare alla cute del I spazio metatarsico e alla cute delle dita del piede.

Il *plesso pudendo* è in continuazione con il plesso sacrale ed è costituito da tutti i nervi degli organi genitali, della cute e dei muscoli del perineo e della parte finale dell'intestino. Presenta i rami viscerali che innervano la vescica, il retto e la vagina, e i rami muscolari con il *nervo per il muscolo elevatore dell'ano* e il *nervo per il muscolo ischio-coccigeo*, e infine i *nervi sensitivi emorroidale inferiore* e quello *inferiore mediale della natica*. Il *nervo pudendo* rappresenta il ramo terminale del plesso, contiene diversi rami collaterali che innervano gli organi intrapelvici, la cute e i muscoli della regione perineale. I suoi rami terminali sono costituiti dal *nervo del perineo* che innerva la cute del perineo, delle grandi labbra, della parte inferiore del pene e dello scroto, e dal *nervo dorsale del pene* o *del clitoride* che innerva nel maschio i corpi cavernosi, la cute del glande, e nella femmina la cute del clitoride, le piccole e le grandi labbra.

Il *plesso coccigeo* è localizzato lateralmente al coccigeo, è il più piccolo tra i plessi, e fornisce rami che innervano la cute dell'orifizio anale, il muscolo ischio-coccigeo e il grande gluteo (3,4,22).

Nervi cranici o encefalici

I nervi cranici sono dodici paia e fuoriescono dall'encefalo simmetricamente per poi distribuirsi alle aree del capo e del collo; solo il X nervo arriva agli organi del torace e dell'addome. Sono denominati con i numeri romani in ordine di fuoriuscita in senso antero-posteriore (si veda Figura 2.21). I nuclei di origine dei nervi cranici III-XII sono illustrati nella Figura 2.8.

Nervo I: olfattivo È costituito da un insieme di piccoli fasci (*filamenti olfattivi*) provenienti dagli assoni dei neuroni recettoriali (che interagiscono con le molecole odorose) posti nella mucosa olfattiva che, dopo aver attraversato la lamina cribrosa dell'etmoide riuniti a fascio, raggiungono il bulbo olfattivo ove prendono contatti sinaptici con le cellule mitrali. È un nervo che porta stimoli sensoriali dalla mucosa olfattiva (sistema nervoso periferico) sino al sistema nervoso centrale.

Nervo II: ottico È un nervo sensitivo che porta le informazioni generate dalle onde luminose che hanno colpito i recettori retinici (coni e bastoncelli) sino alla corteccia occipitale dopo essere penetrato nella cavità cranica mediante il forame ottico e continuandosi con il chiasma ottico. Qui i due nervi ottici decussano e si continuano nei tratti ottici per raggiungere il nucleo genicolato laterale talamico e quindi la corteccia; altre fibre deputate ai riflessi visivi raggiungono i collicoli superiori del mesencefalo.

Nervo III: oculo-motore È un nervo costituito da fibre motrici-somatiche e da una minima parte di fibre effetttrici-viscerali: le prime prendono origine dalla calotta mesencefalica e innervano i muscoli estrinseci dell'occhio, mentre le fibre viscero-effetttrici si originano dai motoneuroni viscerali del nucleo parasimpatico mesencefalico e innervano due muscoli intrinseci dell'occhio, il muscolo sfintere della pupilla e il muscolo ciliare. Il nervo oculo-motore è considerato un nervo misto poiché nel suo decorso contiene anche fibre sensitive (che nascono dal ganglio trigeminale di Gasser) e che appartengono alla branca oftalmica del trigemino.

Nervo IV: trocleare Origina dal mesencefalo ed è l'unico nervo che emerge dorsalmente rispetto agli altri nervi cranici. Il nervo trocleare, detto anche patetico, è il più sottile ed è un nervo motore.

Nel suo decorso circonda il peduncolo cerebrale per poi penetrare nella cavità orbitaria per innervare il muscolo obliquo superiore responsabile dei movimenti dei bulbi oculari.

Nervo V: trigemino È il nervo cranico più voluminoso. È un nervo misto costituito sia da fibre motorie somatiche, che si originano dal nucleo masticatore sito nel ponte e che innervano tutti i muscoli della masticazione

e del velo palatino, sia da fibre sensitive somatiche i cui neuroni (di origine neuroni a T) si trovano nel *ganglio semilunare di Gasser* situato nella fossa cranica media in prossimità della piramide dell'osso temporale. Le fibre che costituiscono la radice sensitiva dal ganglio semilunare arrivano ai nuclei mesencefalici sensitivi; questa radice è molto grossa a differenza della radice motoria che è più sottile. Le due radici, la sensitiva e la motoria, una volta lasciata la sede di origine, si portano verso il ganglio di Gasser dove danno origine a tre rami: il nervo oftalmico, il nervo mascellare e il nervo mandibolare.

- Il *nervo oftalmico* è un nervo sensitivo al quale è annesso il ganglio parasimpatico ciliare. Una volta emerso dal ganglio semilunare si porta verso la fessura orbitale e si divide in tre rami: il *nervo nasociliare* che innerva la cute palpebrale e quella della radice nasale, la mucosa nasale, il muscolo ciliare e l'iride; il *nervo frontale* che innerva la congiuntiva della palpebra superiore e la mucosa del seno frontale; il *nervo lacrimale* che con i suoi rami collaterali penetra all'interno delle ghiandole lacrimali, oltre a innervare la parete e la congiuntiva della palpebra superiore e la cute della fronte dello stesso lato.
- Il *nervo mascellare* è un nervo sensitivo somatico che si dirige verso la fossa pterigo-palatina vi è annesso il ganglio parasimpatico pterigo-palatino (o sfenopalatino) per poi penetrare all'interno della cavità orbitaria e uscirne sotto forma di *nervo infraorbitario*, che a sua volta emette dei rami che innervano la cute della guancia, della palpebra inferiore e del labbro superiore. Esistono altri rami: i *nervi nasali* e i *nervi palatini* che innervano la mucosa del palato, le gengive superiori, la mucosa faringea e le tonsille; i *nervi alveolari superiori* che innervano le radici dei molari superiori e inferiori; e infine il *nervo zigomatico* che innerva la cute degli zigomi.
- Il *nervo mandibolare* è un nervo misto perché appena emerge dal ganglio di Gasser si fonde con il ramo motorio; rappresenta il ramo più voluminoso del trigemino. Appena esce dal cranio il nervo mandibolare emette un collaterale, il *nervo spinoso*, che a sua volta si suddivide in:
 - un ramo anteriore che si sfocia in *nervo buccinatore* che innerva il muscolo omonimo e la mucosa della guancia, *nervo masseterino* che innerva oltre al muscolo omonimo l'articolazione temporo-mandibolare;
 - *nervo temporale-profondo* che innerva il muscolo temporale; un ramo posteriore che contiene il *nervo pterigoideo interno* che innerva il muscolo omonimo, i *nervi dei muscoli tensori* sia del timpano sia del velo palatino, il *nervo sensitivo auricolare-temporale* che innerva la parotide, il *meato acustico esterno*, il *nervo*

alveolare inferiore. A questo gruppo appartengono anche i *nervi dentali e gengivali inferiori* e il *nervo mentoniero* che innerva la cute del mento e della mucosa del labbro inferiore.

Il ramo terminale del nervo mandibolare è il *nervo linguale*, sensitivo, che ha la caratteristica di anastomizzarsi con altri nervi cranici, tra cui il *facciale* e l'ipoglosso. Al nervo mandibolare sono annessi tre gangli: il *ganglio parasimpatico otico* che riceve fibre dal ganglio di Gasser, il *ganglio parasimpatico sottomandibolare* a cui arrivano fibre dal nervo linguale e da dove partono fibre post-gangliari che raggiungono la ghiandola sottomandibolare, e il *ganglio sottolinguale* che riceve afferenze dal nervo linguale e invia fibre post-gangliari alla ghiandola sottolinguale.

Nervo VI: abducente Le fibre del VI nervo encefalico prendono origine dal nucleo omonimo sito nel ponte. È un nervo motore somatico che innerva il muscolo retto laterale del bulbo oculare consentendone il movimento laterale degli occhi.

Nervo VII: facciale È un nervo misto costituito da fibre motrici somatiche (nucleo *facciale*, propriamente detto), fibre effettrici viscerali parasimpatiche pregangliari, e fibre sensitive somatiche e sensoriali insieme costituiscono il nervo intermedio del Wrisberg. Le *fibre motrici somatiche* prendono origine dal ponte, precisamente dal nucleo del *facciale*, e sono deputate per la mimica facciale: infatti innervano i muscoli pellicciai o mimici.

Le *fibre effettrici viscerali parasimpatiche pregangliari* si originano dai nuclei lacrimale e salivatore superiore, si portano verso il ponte e poi si dividono: quelle che nascono dal nucleo lacrimale entrano nel ganglio sfenopalatino, da cui fuoriescono le fibre postgangliari che innervano le ghiandole lacrimali, della mucosa nasale e del palato; quelle che nascono dal nucleo salivatore entrano nei gangli sottomandibolare e sottolinguale, di cui le fibre postgangliari vanno a innervare le rispettive ghiandole.

Le *fibre sensitive somatiche e sensoriali* prendono origine dai neuroni siti nel ganglio genicolato: le prime raccolgono la sensibilità della cute di una piccola porzione del padiglione auricolare per portarla al nucleo spinale del trigemino; le fibre sensoriali invece si portano ai 2/3 anteriori della lingua raccogliendo la sensibilità gustativa. Inoltre il nervo *facciale* nel suo decorso dà origine a dei rami collaterali, quali: il *nervo gran petroso superficiale*, che innerva i muscoli della mucosa nasale e il muscolo elevatore del velo del palato, il *nervo stapedio* il muscolo omonimo, **e il più importante, che entra nel cavo del timpano, esce e insieme al linguale raggiunge il muscolo corda del timpano e il pterigoideo esterno.** Tra i rami terminali del nervo *facciale* ricordiamo quelli

deputati alla mimica facciale, il ramo mimico-facciale e il temporo-facciale che innervano i muscoli cutanei del collo e della testa.

Nervo VIII: stato-acustico o vestibolo-cocleare) Il nervo stato-acustico è deputato al trasporto di impulsi che dai meccanocettori dell'orecchio interno vanno verso l'encefalo, pertanto è un nervo sensitivo-sensoriale. Nasce dalla regione bulbo-pontina e durante il percorso si divide in due rami: il *nervo cocleare* e il *nervo vestibolare*. Il primo si porta sino ai neuroni posti all'interno del ganglio spirale del Corti, i prolungamenti periferici vanno all'organo del Corti, mentre quelli centrali arrivano al nucleo cocleare sito nell'area pontina; pertanto il nervo cocleare trasmette informazioni provenienti dalla chiocciola. Il nervo vestibolare prende origine dai neuroni bipolari siti all'interno del ganglio vestibolare di Scarpa, posto nel meato acustico interno. Le fibre si dirigono perifericamente verso i canali semicircolari, l'utricolo e il sacculo, mentre centralmente si dirigono verso il nucleo vestibolare del tronco encefalico; tale nervo è quindi connesso al senso dell'equilibrio e ai movimenti angolari del capo.

Nervo IX: glosso-faringeo Il nervo glosso-faringeo consta di una componente motoria e una sensitiva, pertanto è un nervo misto. Le *fibre motrici somatiche* prendono origine dal nucleo ambiguo posto nel bulbo e vanno a innervare i muscoli del plesso faringeo, i muscoli stiloglosso, palatoglosso e stilofaringeo; le *fibre motorie viscerali* nascono dai neuroni del ganglio salivatorio inferiore come fibre pregangliari per arrivare al ganglio otico dove sinaptano coi neuroni postgangliari, le cui fibre innervano la ghiandola parotide e le salivari minori. La *componente sensitiva somatica* consta di fibre che si originano dal ganglio superiore che centralmente si dirigono verso il nucleo della radice discendente del trigemino, mentre perifericamente raccolgono gli stimoli provenienti dalla cute del padiglione auricolare. Le *fibre sensitive viscerali* prendono origine dai neuroni siti nel ganglio petroso e raccolgono informazioni dalla porzione posteriore della lingua, dalle tonsille, dal palato e dalla mucosa della cavità del timpano e della tuba per trasferirle al nucleo del tratto solitario. Tra rami collaterali del IX nervo troviamo il *nervo timpanico* e i *rami linguali*.

Nervo X: vago È un nervo misto, costituito da fibre effettrici sia sensitive sia somatiche, ed è il nervo encefalico più lungo in quanto si porta sino alla cavità addominale. Le *fibre motrici somatiche* prendono origine dal nucleo ambiguo e vanno a innervare la muscolatura laringea e faringea. Le *fibre motrici viscerali* si originano dai neuroni posti nel nucleo dorsale del vago, che si trova nel bulbo, e innervano la muscolatura liscia di torace e

addome sino al primo tratto del colon, e le ghiandole dei visceri toraco-addominali. Le *fibre sensitive somatiche*, il cui neurone si trova nel ganglio superiore del vago (o giugulare), si portano da un lato nel nucleo della radice discendente del trigemino e dall'altro nel meato acustico esterno. Le *fibre sensitive viscerali* nascono dai neuroni siti nel ganglio inferiore del vago (o nodoso) e si portano superiormente al nucleo del tratto solitario, perifericamente raccolgono informazioni da ipofaringe, faringe ed epiglottide. Il nervo vago emette, infine, una serie di rami sia collaterali sia anastomotici con i nervi craniali glossofaringeo, ipoglosso e accessorio. Tra i rami collaterali ricordiamo: ramo faringeo, laringeo auricolare, e rami cardiaci superiori. Esistono anche rami toracici rami pericardici, rami cardiaci inferiori, rami tracheali, bronchiali, esofagei e addominali rami epatici (ramo celiaco, gastrico).

Nervo XI: accessorio Il nervo accessorio è suddiviso in *nervo accessorio spinale*, che contiene fibre effettrici somatiche, e *nervo accessorio del vago* che contiene fibre effettrici viscerali. La parte spinale prende origine a livello delle corna anteriori (C2-C5), risale e attraverso il forame occipitale si porta all'interno del cranio dove si unisce alla parte dell'accessorio vagale costituendo così il tronco unico del nervo accessorio. È costituito da una componente motrice somatica, le cui fibre si originano dai neuroni del nucleo ambiguo, e da una componente motrice viscerale le cui fibre si originano dal nucleo dorsale del vago. Il nervo accessorio innerva i muscoli sternocleidomastoideo e il trapezio.

Nervo XII: ipoglosso Il XII nervo è un nervo motorio somatico che prende origine dal nucleo dell'ipoglosso sito a livello bulbare, i cui rami terminali innervano la muscolatura intrinseca della lingua (rami linguali). Possiede inoltre sia rami anastomotici con il nervo vago e con il simpatico, sia rami collaterali che innervano tutta la muscolatura sopra- e sottoioidea (3,4,22).

SISTEMA NERVOSO AUTONOMO O VEGETATIVO

Il sistema nervoso autonomo controlla tutte le funzioni vitali dei vari sistemi cardiovascolare, respiratorio, digerente ecc.) indipendentemente dalla nostra volontà.

È costituito da:

- nuclei del SNC centri viscer-effettori);
- fibre pregangliari mieliniche che sinaptano con i neuroni siti nei gangli;
- gangli vegetativi;
- fibre postgangliari piccole e amieliniche che vanno a innervare gli effettori ghiandole, muscoli lisci ecc.

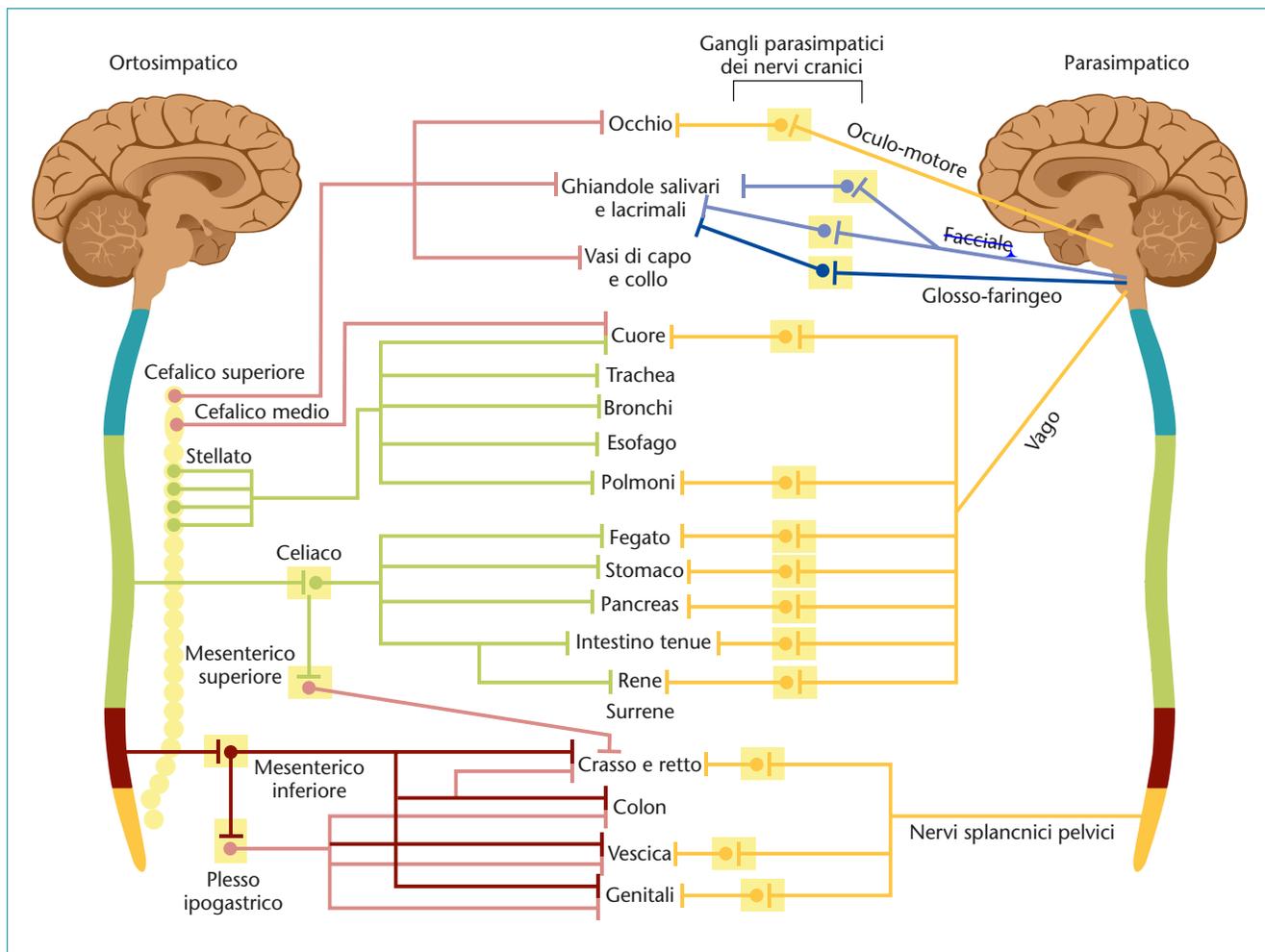


Figura 2.22 Organizzazione del sistema nervoso ortosimpatico e parasimpatico e innervazione degli organi.

È formato da due unità funzionalmente antagoniste, il sistema ortosimpatico e il sistema parasimpatico, che innervano la maggior parte dei visceri, anche se il sistema **parasimpatico** presenta una maggiore estensione rispetto al parasimpatico (Figura 2.22).

Sistema ortosimpatico

Il sistema ortosimpatico è formato da nuclei visceroeffettori siti nel corno laterale del midollo spinale (tratto toraco-lombare). Gli assoni di tali neuroni danno origine alle *fibres pre-gangliari* mieliniche colinergiche che penetrano all'interno dei *gangli vertebrali*, disposti parallelamente ai due lati della colonna vertebrale formando una *catena latero-vertebrale*, e sinaptano con il secondo neurone gangliare (la cui efferenza rappresenta la fibra postgangliare lunga) di natura noradrenergica.

Oltre ai gangli della catena latero-vertebrale esistono altri gangli al di fuori della colonna, i gangli pre-vertebrali: ganglio celiaco, ganglio mesenterico superiore e ganglio mesenterico inferiore.

Tra i gangli della catena latero-vertebrale ricordiamo i *gangli cefalico superiore e medio* e il *ganglio stellato*, da cui fuoriescono fibre che innervano gli organi viscerali localizzati nel capo (ghiandole salivari, lacrimali, muscolo dilatatore della pupilla, vasi del capo), nel collo e nella regione superiore del torace (cuore e polmoni). I gangli del tronco toracico sono 11, da essi si dipartono fibre che innervano le arterie intercostali e l'aorta toracica discendente, oltre a fibre che innervano trachea, bronchi, esofago, pericardio, pleura. Dai gangli toracici inferiori si dipartono dei rami che costituiscono il *nervo splanchnico*, il quale penetra nel ganglio celiaco da cui fuoriescono le fibre postgangliari che vanno a innervare gli organi della cavità addominale (fegato, stomaco, pancreas, reni, intestino tenue), mentre all'intestino crasso arrivano fibre postgangliari provenienti dal ganglio mesenterico superiore. Il tratto lombare del tronco simpatico presenta 4-5 gangli da cui fuoriescono delle fibre che costituiscono il plesso celiaco (ganglio mesenterico inferiore) e il plesso ipogastrico (ganglio ipogastrico), le cui fibre postgangliari vanno a innervare

l'intestino crasso e il retto, la vescica e gli organi genitali. Il tratto pelvico è costituito da cinque gangli, quattro sacrali e uno coccigeo, da cui partono efferenze che innervano gli organi dell'apparato genitale.

Il sistema parasimpatico ha i centri ubicati a livello del  *brain stem* e del tratto sacrale. I primi sono rappresentati da:

- *nucleo mesencefalico di Edinger-Westphal* (da cui si diparte il III nervo cranico oculo-motore) che penetra all'interno del ganglio parasimpatico da dove fuoriesce una fibra postgangliare corta che innerva la muscolatura liscia dell'occhio (accomodazione e contrazione della pupilla);
- *nuclei salivatori superiore e inferiore del bulbo* (da cui si dipartono il VII e il IX nervo cranico facciale e glossofaringeo) che penetrano nel ganglio parasimpatico le cui fibre postgangliari innervano le ghiandole salivari e lacrimali;
- *nucleo dorsale del nervo vago* (da cui si diparte il X nervo encefalico vago) che si dirama e va a penetrare all'interno dei gangli parasimpatici e la cui componente postgangliare è responsabile delle attività riguardanti cuore, polmoni, fegato, pancreas, stomaco, intestino tenue e colon ascendente.

I centri ubicati nel tratto sacrale sono a livello dei mielomeri S2-S4, da cui si originano delle fibre che riunendosi formano il *nervo splanchnico pelvico* che si sfocia e penetra a livello dei gangli parasimpatici, da cui fuoriescono

le fibre postgangliari che innervano gli organi pelvici (colon discendente, rene, vescica e organi sessuali). Nel sistema parasimpatico sia le fibre pregangliari sia le fibre postgangliari sono colinergiche (3,4).

SISTEMA NERVOSO ENTERICO

Il sistema nervoso enterico rappresenta una branca del sistema nervoso autonomo e ha il compito di regolare tutte le funzioni fondamentali del canale alimentare, controllandone la motilità, le secrezioni e la vascolarizzazione. È costituito da due plessi: il *plesso mienterico di Auerbach* e il *plesso sottomucoso di Meissner*. Il primo è localizzato tra gli strati longitudinali e circolari della muscolatura liscia del tubo digerente, presenta neuroni disposti a catena collegati tra loro ed è deputato al controllo della motilità gastrointestinale; il secondo, costituito da un minor numero di neuroni rispetto al plesso mienterico, è sito nella tonaca sottomucosa e regola il flusso del sangue e la secrezione ghiandolare. Poiché il sistema nervoso enterico presenta una ricca componente di cellule nervose enteriche e poiché è in stretto rapporto con i sistemi ortosimpatico e parasimpatico, prende il nome di *secondo cervello*. Il sistema nervoso enterico presenta sia neurotrasmettitori eccitatori (acetilcolina, serotonina, sostanza P) sia neurotrasmettitori inibitori (GABA, ossido nitrico e peptide vasoattivo intestinale) (3,23).

