

Introduzione

L'elaborato si prefigge lo scopo di comprendere e analizzare i meccanismi che determinano il processo decisionale.

In ogni momento della nostra esistenza ci troviamo dinnanzi ad una scelta da compiere: inseriti in un mondo pieno di alternative dobbiamo necessariamente prendere una decisione, razionale o irrazionale essa sia.

Resta da capire se la preferenza tra una o altre alternative derivi da un processo completamente libero, scevro da ogni determinazione o, al contrario, se sia determinata da fattori esterni (sociali ed ambientali) o da fattori interni (neurologici, biologici, chimici e genetici).

Nel primo caso l'uomo è considerato razionale, accorto e completamente libero di scegliere le sue azioni; nel secondo caso invece l'individuo è un soggetto passivo, guidato da fattori deterministici di natura differente. Se questa dicotomica concezione dell'uomo potrebbe risultare irrilevante nelle decisioni che potremmo definire neutre (scegliere il colore di una maglia o cosa mangiare a cena), tutt'altro rilievo ha nel caso della decisione deviante e criminale. In tal senso, gli esiti della scelta non interesseranno solo il soggetto agente ma anche una presunta vittima e la comunità intera. Tutto ciò si ripercuoterà in modo inevitabile sul sistema penale e sulle modalità attraverso cui questo dovrà giudicare il soggetto: essere razionale che ha agito con l'obiettivo specifico di delinquere o soggetto passivo che ha agito solo perché "costretto" da condizionamenti esterni e/o interni?

Di conseguenza sarà differente il modo con cui il sistema penale dovrà intervenire: punire per poi reintegrare o riabilitare il reo?

L'origine del crimine, la spiegazione della scelta deviante, le strategie di intervento da applicare al reo in base alla sua imputabilità e colpevolezza, sono i quesiti su cui, da anni, i ricercatori concentrano il loro interesse. L'elaborato esposto tenta di offrire una disamina dei temi appena accennati, ponendo in evidenza come siano stati fondamentali, nel corso del tempo, gli approcci disciplinari della criminologia fino allo sviluppo delle neuroscienze.

Il primo capitolo si concentrerà sulla concettualizzazione del libero arbitrio e sull'analisi di un approccio filosofico-sociale che descrive l'agente come un soggetto razionale, ben consapevole delle sue azioni e delle conseguenze che queste hanno su sé stesso e sugli

altri; si tratta di un approccio che si incentra sui cardini dell'autodeterminazione e della piena libertà cognitiva ed esecutiva.

Il capitolo continua con l'analisi di una prospettiva analitica del tutto opposta a quella appena esposta; si tratta dell'intervento della neurobiologia e delle spiegazioni da essa fornite alla volontà umana. Le scienze neurobiologiche fanno leva su un uomo diverso dall'uomo razionale del libero arbitrio; si tratta dell'*homo cerebralis* in cui vita ed azioni esistono grazie alle attività cerebrali e ad influenze corporee chimiche e fisiche. A partire dunque dall'imprescindibile importanza del cervello e del sistema nervoso, il lavoro prosegue con l'analisi microanatomica e macroanatomica del sistema nervoso centrale nonché la descrizione anatomica del sistema nervoso periferico. La presentazione del sistema nervoso centrale e periferico è necessaria per comprendere in che modo le attività neuronali e cerebrali possano influenzare l'agire umano e una maggiore delucidazione viene fornita dagli esperimenti condotti da autorevoli ricercatori. Le sperimentazioni addotte fanno riferimento sia a scelte neutre che a *scelte morali*¹ e consentono di chiarire non solo come il nostro cervello scelga in modo del tutto autonomo ed indipendente dalla nostra volontà ma anche che l'uomo diventi consapevole della decisione presa solo dopo che l'attività neuronale sia stata già compiuta.

L'interesse neurobiologico alla spiegazione del comportamento umano ha permesso la nascita e l'evolversi di un crogiolo di saperi e approcci multidisciplinari che hanno determinato lo sviluppo delle neuroscienze: un insieme di discipline differenti unite dall'analogo obiettivo di rintracciare le basi deterministiche della scelta umana. Nel prosieguo del primo capitolo, pertanto, verranno analizzati gli influssi delle neuroscienze (ed in particolar modo delle neuroscienze cognitivo-comportamentali) nonché gli strumenti applicativi da esse adoperati per rendere sempre più esaustive e aggiornate le ricerche condotte.

In ultimo, si passerà al vaglio l'importanza dei metodi neuroscientifici in ambiti che interessano la vita quotidiana di ogni individuo e in situazioni tali per cui l'individuo sembra non avere più una minima capacità di discernimento come nel caso di pazienti in stato vegetativo.

¹ Si tratta di quelle particolari decisioni che prevedono un giudizio morale e che, come tali, inglobano l'interesse dell'individuo nei confronti del benessere e della tutela altrui e che determinano comportamenti prosociali ed altruistici.

Nel secondo capitolo, dopo aver eseguito un excursus storico-disciplinare sui prodromi della spiegazione della scelta criminale, si procede con la disamina delle principali teorie criminologiche moderne e post-moderne che dalla fine del XIX secolo e per tutto il XX secolo hanno cercato di fornire una spiegazione dell'evento delittuoso; nella seconda parte del medesimo capitolo ci si concentrerà sulla nascita della neurocriminologia e ne saranno delineate le caratteristiche tipiche e gli sviluppi che hanno consentito di analizzare il crimine in un'ottica neurobiologica: i contributi di Gerard Roth, della genetica criminale e di Adrian Raine rappresentano una valida dimostrazione dell'evoluzione della neurocriminologia e del suo ruolo di co-protagonista (insieme alle teorie criminologiche) nel chiarire l'origine di un comportamento apparentemente irrazionale ed inspiegabile.

L'importanza della neurocriminologia è rinvenibile non solo nell'estrinsecazione di tecniche di prevenzione al crimine, come la strategia del self-control ma anche per aver contribuito alla nascita di nuove discipline neurocriminologiche, come la neurocriminologia emotiva, che tentano di tradurre i crimini sulla base di una re-interpretazione degli stati emotivi e passionali che tanta importanza hanno nella spiegazione dell'azione deviante e che altrettanto riflesso hanno sul ruolo del sistema penale e penitenziario.

In ultimo, verrà presentato, per completezza, un nuovo campo di applicazione delle neuroscienze: la neurosociologia. Una disciplina che, attraverso epigoni del calibro di Jhon T. Cacioppo, Gary G. Berntson e David D. Franks, cerca di rileggere le interazioni sociali sulla base dei meccanismi neuronali e cerebrali del cervello umano, definito non a caso *cervello sociale*.

Se lo sviluppo delle neuroscienze ha offerto una nuova prospettiva dalla quale attenzionare i crimini, va da sé che mutano i principi di colpevolezza ed imputabilità del reo. Difatti, secondo le impostazioni delle neuroscienze, il soggetto che delinque non è completamente libero di agire ma la sua volontà è predeterminata da fattori biochimici, genetici e cerebrali che sfuggono al suo controllo razionale; così rilevando, si creano dei profondi squarci nel sistema penale e nel sistema penitenziario italiano che devono far fronte alla continua evoluzione delle scienze, in generale, e delle neuroscienze in particolare. Per affrontare le problematiche che nascono dalla continua e costante diafrasi tra determinismo neurobiologico e libero arbitrio, è stato necessario rendere più completo

il diritto associandone i contributi delle neuroscienze; ciò ha reso possibile la nascita di una nuova branca neuroscientifica denominata appunto neuroscienze forensi, che si prefigge lo scopo precipuo di verificare se, al momento della commissione del delitto o di un qualsiasi evento criminoso, il soggetto fosse realmente libero e consapevole d'agire oppure se la sua azione fosse il frutto di determinazioni immodificabili. Di queste peculiari tematiche si tratta nel terzo capitolo dell'elaborato. In tal senso, verrà affrontata non solo l'applicazione delle neuroscienze nei processi penali con persone adulte ma anche nei processi penali minorili e verranno passati al vaglio alcuni tra i casi più noti della cronaca nera italiana e non, in cui ci si è avvalsi dell'ausilio delle prove neuroscientifiche nelle aule di tribunale. Oltre le metodiche consuete delle neuroscienze (FMRI, PET, TAC et al.), nelle aule dibattimentali, notevole è stato l'utilizzo di metodi rivolti alla rilevazione della veridicità del ricordo dell'evento delittuoso subito, o arrecato, tanto nelle vittime quanto nel presunto reo. Si farà riferimento al macabro caso Foffo, all'ausilio delle neuroscienze per il giudizio di imputabilità nel caso della pedofilia, della psicopatìa e del loro possibile valore risolutivo nell'attuale caso di infanticidio compiuto ad opera di Lindsay Clancy, affetta da depressione post-partum.

Grazie alle neuroscienze, il Giano bifronte della giustizia volge lo sguardo ad una duplice prospettiva: da una parte punire il reo colpevole, dall'altra adattare le scoperte delle neuroscienze alla criminalità per favorire una cura e una riabilitazione; non avrebbe senso punire chi non comprende la gravità delle sue azioni o chi, pur comprendendole, non riesce a placarne l'esecuzione perché spinto da cause ingestibili.

Il delicato compito della giustizia e della società consiste nel non dare per scontata nessuna interpretazione della decisione criminale per tentare di spiegare cosa spinga l'uomo a delinquere: la sua libertà o il suo determinismo?

Le neuroscienze non servono (come molti alludono) a giustificare il criminale ma, al pari delle teorie criminologiche, cercano di spiegare il perché un dato evento è accaduto e quale sia la strategia migliore non solo per recuperare il soggetto agente e per ri-educarlo, ma anche per identificare le cause del reato e tracciare traiettorie di intervento che permettano di prevenire l'esecuzione di criminalità future per preservare il benessere e l'integrità dell'intera comunità.

CAPITOLO 1

COMPRENDERE LA COMPLESSITA' DEL COMPORTAMENTO UMANO: TRA NEUROBIOLOGIA E LIBERO ARBITRIO.

1.1 L'approccio neurobiologico alla volontà

Fino alla metà del 1800, si pensava che la volontà e il comportamento potessero essere spiegati tramite la religione e la filosofia, ma a partire dal XIX secolo e fino al XX secolo, in particolare grazie al contributo di ricercatori del calibro di Helmut Kornhuber e di Benjamin Libet, secondo cui “*siamo ciò che il cervello ci fa essere*”², sono stati analizzati i meccanismi cerebrali che caratterizzano e qualificano l'essere umano e la sua volontà. Secondo D. Hume la volontà è “*quell'impressione interna che noi avvertiamo e di cui diveniamo consapevoli, quando coscientemente diamo origine a qualche nuovo movimento del nostro corpo o a qualche nuova percezione della nostra mente*”³. La volontà secondo Hume è dunque la sensazione che ognuno di noi ha di essere la causa o il motivo di un atto, di una scelta o di un fenomeno, ma l'approccio biologico sostiene che dietro la sensazione di piena indipendenza si celino i meccanismi neurali. E' Mark Balaguer che afferma come solo un approccio scientifico sia in grado di poter fornire, in modo valido e comprensibile, le spiegazioni sul libero arbitrio e sulla volontà; il suo pensiero è stato condiviso da Mark Hallett, fisiologo e patologo del movimento, sostenendo che la questione della volontà non sia più compito di filosofi ma di fisiologi⁴. La neurobiologia cerca dunque di spiegare il rapporto esistente tra mente e coscienza, postulando l'esistenza di un nuovo homo: *l'Homo cerebrealis*⁵, in cui vita ed azioni esistono grazie alle attività cerebrali chimiche e fisiche. Gli studi neurobiologici della mente e della coscienza vengono rappresentati con la sigla NCC: *neural correlates*

² A. Benini, Neurobiologia della volontà, Raffaello Cortina Editore, 2022

³ Ibidem pag. 27

⁴ M. Hallett, Volitional control of movement. The physiology of free will, in Clinical Neurophysiology.

⁵ M. Hagner. Homo cerebrealis. Der Wandel vom Seelenorgan zum Gehirn, Verlag Berlin 1997

*of consciousness*⁶, dedicati allo studio del funzionamento della connessione tra cervello e mente. Questi studi partono dall'idea secondo cui ogni attività umana, dunque anche la volontà, l'affettività e tutto ciò che non è propriamente corporeo, dipenda dall'attività cerebrale. È stato infatti sperimentato, anche tramite le migliori tecnologie odierne, che all'esecuzione di un determinato gesto o alla scelta tra più alternative corrisponda l'attivazione di aree cerebrali deputate a precisi compiti: una certa attività neuronale ci induce a prendere una decisione; un altro meccanismo cerebrale ci fa percepire gioia per la decisione presa, un altro ancora ci induce alla rabbia, al dolore, al senso di colpa, al rimpianto o al rimorso. Gli studi neurobiologici si prefiggono proprio l'obiettivo di capire questi particolari meccanismi cerebrali, tenendo sempre presente la difficoltà del compito da eseguire, perché come sostiene il biologo M. Cobb, comprendere il cervello umano, nella sua totale complessità e vastità, è un sogno che sa di irrealizzabile. Ma solo la scienza può provare a tramutarlo in realtà⁷. Ogni evento volitivo è sempre anticipato dall'attivazione di specifiche aree del cervello, senza cui non potrebbe esistere nessun meccanismo fisico o mentale; si tratta però di un sapere parziale che tutt'oggi sfugge alla razionalità scientifica ma che può essere perscrutato in modo sempre più approfondito. Per poter comprendere le basi biologiche del comportamento, dobbiamo anzitutto comprendere come funzioni la sede in cui quelle basi biologiche sono localizzate: il sistema nervoso. È grazie a questo particolare sistema che l'uomo è in grado di ricevere sia gli stimoli provenienti dall'ambiente circostante che gli stimoli interni derivanti dallo stesso organismo, per poi immagazzinarli, elaborarli ed attribuirgli una risposta. Il sistema nervoso si dipana in SNC, cioè sistema nervoso centrale e SNP, sistema nervoso periferico. Il primo è costituito da midollo spinale ed encefalo, il secondo consta di gangli periferici, nervi cranici e spinali e da insiemi di neuroni che hanno il compito di recepire gli stimoli che derivano dagli organi di senso.

1.1.1 Il sistema nervoso centrale e il sistema nervoso periferico

⁶ A. Benini, Neurobiologia della volontà, Raffaello Cortina Editore, 2022

⁷ M. Cobb, The idea of the brain. A History, Profile Books, Londra, 2020

Il sistema nervoso centrale, dal punto di vista *microanatomico*, consta di due tipologie di cellule: **i neuroni** e **le cellule gliali**⁸.

-**Il neurone** è considerato il mattone del sistema nervoso centrale⁹. Si tratta di una cellula altamente specializzata che genera elettricità. Esistono circa un migliaio di differenti tipologie neuronali con morfologie e funzionalità diverse. I neuroni sono costituiti dal soma, dai dendriti (ramificazioni che partono dal corpo cellulare del neurone e terminano nella parte apicale del neurone) e dall'assone (un prolungamento filiforme che dal soma prosegue verso la zona periferica inferiore del neurone). Lo scopo dei neuroni è quello di ricevere ed inviare l'impulso nervoso che, una volta recepito dai dendriti, prosegue lungo il corpo cellulare (soma) per arrivare alla zona periferica del neurone tramite l'assone. Nella parte finale dell'assone, si collocano i bottoni sinaptici: piccole vescicole in cui lo stimolo nervoso induce la produzione dei neurotrasmettitori (sostanze fisiologiche di cui si servono i neuroni per trasmettere gli impulsi nervosi tra aree anatomicamente separate¹⁰). I neurotrasmettitori hanno un ruolo importante nella regolazione di alcuni comportamenti, ad esempio l'acetilcolina e la dopamina sono fondamentali nell'apprendimento. Lo stimolo nervoso prodotto attraverserà il midollo spinale e raggiungerà poi il resto del corpo, tramite i nervi.

- **Le cellule gliali** sono considerate il sostegno del SNC. Il termine deriva dal greco e vuol dire colla¹¹, perché per decenni si pensava che il loro compito fosse quello di sostenere e proteggere i neuroni, creando un vero e proprio collante, un sostegno. La loro funzione è in realtà molto più complessa dato che rende possibile la comunicazione tra i neuroni. Le cellule gliali, in particolare gli oligodendrociti, costituiscono il rivestimento degli assoni, la **guaina mielinica**, una sostanza di colore bianco che riduce la dispersione del potenziale elettrico e funge da catalizzatore nel passaggio del segnale dal soma ai bottoni sinaptici¹²; costituiscono, inoltre, la barriera emato-encefalica, fondamentale per evitare che sostanze chimiche arrivino al sistema nervoso tramite il sangue; inoltre sono deputate alla regolazione dei processi immunitari e di protezione del midollo spinale e del cervello.

⁸ A.Marini, Che cosa sono le neuroscienze cognitive, Carocci Editore, Febbraio 2021

⁹ A. Benini, Neurobiologia della volontà, Raffaello Cortina Editore, 2022

¹⁰ F. Fiore, I neurotrasmettitori: cosa sono e le diverse tipologie; introduzione alla psicologia, in stateofmind.it, 5 ottobre 2017

¹¹ M.Pistis, Cellule gliali, SIF Magazine, società italiana di farmacologia.

¹² A.Marini, Che cosa sono le neuroscienze cognitive, Carocci Editore, Febbraio 2021

Dal punto di vista *macroanatomico*, il SNC è composto dall' encefalo che comprende il **cervello**, il **tronco encefalico**, il **diencefalo** e il **cervelletto**¹³.

- **Il cervello** pesa all'incirca 1400 grammi e pur non poggiando su nessun sostegno mantiene inalterata la sua posizione, questo perché è immerso in un liquido che prende il nome di liquor cerebro-spinale¹⁴ che non solo provvede a mantenerlo in sospensione ma lo protegge anche da eventuali traumi derivanti dall'esterno. Il liquido cerebro spinale viene prodotto nei cosiddetti ventricoli cerebrali, sono quattro cavità, due laterali sono collegate ad una terza cavità; da questa il liquor affluisce nel quarto ventricolo, dal quale si immetterà nello spazio che avvolge il cervello. Il cervello è avvolto dalla corteccia cerebrale, costituita da solchi e rilievi, quest'ultimi vengono chiamati giri. I solchi più profondi sono definiti scissure, la più importante delle quali, la scissura interemisferica, divide il cervello in due parti quasi simmetriche: gli emisferi cerebrali, collegati tra loro dalle commessure cerebrali. Sulla parte superficiale della corteccia vi sono altre scissure, oltre a quella interemisferica, che consentono di operare una suddivisione cerebrale in quattro lobi, ciascuno per ogni corteccia: temporale, frontale, occipitale, parietale; al loro interno sono distinguibili inoltre quattro regioni diverse, definite aree di Broadmann.

— **I lobi frontali** svolgono un ruolo preponderante nell'attuazione di compiti cognitivi piuttosto dettagliati, come individuare soluzioni per risolvere problematiche disparate, progettare atti e movimenti, organizzare ed elaborare in maniera corretta le informazioni.

Una struttura cerebrale importante sita nei lobi frontali è la corteccia motoria primaria. Il suo ruolo è fondamentale perché controlla i movimenti del corpo; in particolare, la corteccia motoria primaria dell'emisfero sinistro coordina e gestisce i movimenti della parte destra del corpo. Ogni parte della corteccia motoria primaria si occupa della gestione del movimento di specifiche sezioni del corpo, ad esempio, il movimento delle braccia,

¹³ A. Griguolo, Encefalo: Cos'è? Anatomia e funzioni, in mypersonaltrainer.it, ultima modifica,16/02/2021

¹⁴ A.Marini, Che cosa sono le neuroscienze cognitive, Carocci Editore, Febbraio 2021

del tronco, dei piedi e delle gambe interessa solo una piccola parte della corteccia motoria, mentre i movimenti del volto, delle mani e dell'apparato che provvede alla regolazione del linguaggio e alla produzione dei suoni, ne interessano circa il 70%. Un'ulteriore corteccia implicata nel controllo dei movimenti è la corteccia BA6 (o PRE-SMA) formata dall'area motoria supplementare e dalla corteccia premotoria; sono aree indispensabili per il controllo e la coordinazione dei movimenti volontari o involontari automatici. Alcuni recenti studi di neuroimaging hanno appurato che diverse aree all'interno della regione prefrontale mediale, sono implicate nella realizzazione di azioni volontarie. In particolare, si è osservato un consistente coinvolgimento della corteccia cingolata anteriore (ACC) e della PRE-SMA negli esperimenti sull'azione volontaria. Per analizzare questi aspetti è utile concentrarsi su un paradigma sperimentale ideato da Libet e ripreso da Lau e colleghi nel 2004¹⁵ in cui ai partecipanti non viene chiesto di decidere cosa fare ma quando farlo. Applicando la (fMRI), sono state confrontate due condizioni: nella prima i partecipanti decidevano volontariamente quando effettuare un'azione; nella seconda dovevano solo eseguire un movimento in un tempo stabilito dallo sperimentatore. I risultati hanno evidenziato come ci sia una maggiore attivazione della PRE-SMA nella prima condizione rispetto alla seconda. Gli stessi risultati si sono ottenuti anche in altri studi di neuroimaging. Gli esperimenti riportati hanno dunque analizzato la variabile del quando dell'azione volontaria. Altri studi si sono invece concentrare sulla variabile del cosa: ai soggetti viene chiesto di scegliere liberamente l'azione da compiere tra diverse alternative presentate¹⁶, Mueller e colleghi hanno accostato una situazione in cui i soggetti dovevano scegliere di premere il tasto destro o quello sinistro per veder comparire uno stimolo a destra o a sinistra dello schermo con una situazione in cui dovevano rispondere con il tasto corrispondente a uno stimolo presentato a destra o a sinistra dello schermo. Mentre da un punto di vista percettivo le richieste sono identiche, da un punto di vista cognitivo c'è una profonda differenza perché nella prima condizione i soggetti scelgono in modo volontario cosa fare; nella seconda invece rispondono al comparire di uno stimolo. Paragonando la prima situazione alla seconda, gli sperimentatori hanno riscontrato una significativa attivazione della ACC. Non sono state rilevate invece differenze tra le due condizioni relativamente all'attività della PRE-SMA.

¹⁵ V. Kriehoff ,M. Brass , W. Prinz , F. Waszak, Dissociating What and When of Intentional Action, 2009, in www.pumed.gov

¹⁶ Ibidem

- **I lobi temporali** sono coinvolti nel controllo e nel rafforzamento delle capacità uditive, della memoria a lungo termine e del riconoscimento dei volti e delle lettere dell'alfabeto. Fondamentali sono al loro interno l'amigdala e l'ippocampo perché hanno un ruolo attivo nell'apprendimento e nella gestione delle emozioni.
- **I lobi parietali** provvedono alla regolamentazione del riconoscimento della configurazione spaziale e geometrica di ciò che l'individuo vede.
- **I lobi occipitali** provvedono invece alla decodificazione delle informazioni visive; si possono distinguere due regioni visive denominate rispettivamente area visiva primaria e area visiva secondaria.

Al di sotto della corteccia cerebrale possiamo trovare numerose altre strutture che sono rilevanti per le azioni umane. Tra queste, occorre citare il sistema limbico che è costituito da un complesso di elementi che provvede all'organizzazione degli stati emozionali, dell'apprendimento e della motivazione e circonda il talamo. Questo è formato da due lobi contenenti nuclei che ricevono le informazioni derivanti dagli organi sensoriali e le trasmettono alla corteccia cerebrale. Ancora, il talamo organizza la corrente di informazioni che parte e giunge dalla e per la corteccia cerebrale. Nell'area sottostante al talamo è situato l'ipotalamo, che comprende l'ipofisi sulla sua struttura ventrale; al suo interno sono collocati un insieme di nuclei chiamati nuclei mammillari e una formazione a forma di X in cui giungono i nervi provenienti dall'occhio. La struttura a forma di X prende il nome di Chiasma ottico. I suoi ruoli sono diversi come la regolazione della quantità di ormoni prodotti dall'ipofisi. Del **sistema limbico** (gruppo di strutture appartenenti al telencefalo) fanno parte anche l'amigdala, l'ippocampo, la corteccia del cingolo e il fornice.

- **Amigdala:** la sua morfologia è piuttosto peculiare perché ricorda una mandorla. Il termine amigdala deriva proprio dal latino e significa mandorla. Questa particolare struttura appartiene al sistema limbico e svolge un ruolo importante nei processi emotivi; è collegata direttamente al talamo, situato al di sotto della corteccia, a cui giungono tutte le informazioni sensoriali, tra cui quelle che per le loro connotazioni possono "scatenare" un'emozione. L'amigdala riceve le informazioni dal talamo prima ancora che le riceva la corteccia e prima di

acquistare una valenza cognitiva. Ha un ruolo nell'induzione delle reazioni vegetative (aumento del ritmo cardiaco, della pressione, sudorazione, dilatazione della pupilla ecc.), ormonali (aumento degli ormoni della surrenale e della tiroide a causa dell'attivazione dell'ipofisi) e comportamentali. Queste ultimi sono possibili grazie all'attivazione dei "gangli della base", strutture nervose da cui dipendono meccanismi motori automatici come quelli coinvolti nella produzione delle espressioni facciali.

- **L'ippocampo:** deve il nome alla sua forma di cavalluccio marino, è coinvolto nei meccanismi di regolazione della memorizzazione a lungo termine e nella progettazione dei percorsi per spostarsi nello spazio.
- **La corteccia cingolata** si suddivide in tre sotto-regioni: anteriore (o rostrale) implicata nelle emozioni; dorsale coinvolta nella cognizione ed infine posteriore impegnata nel controllo motorio. Si registra una forte attività della corteccia soprattutto quando il corpo è sottoposto a momenti di forte stress ed ansia; tramite la corteccia cingolata riusciamo inoltre a comunicare il nostro stato d'animo mediante i gesti o la postura del nostro corpo.
- **Il fornice** è una struttura arcata a forma di C; si compone di un fascio di fibre nervose che fungono da connettore per le varie strutture limbiche.

Le altre componenti del SNC a livello *macro-anatomico* sono il tronco encefalico, il diencefalo e il cervelletto.

- Situato alla base del cervello, **il tronco encefalico** è composto da tegmento, tetto, ponte di Varolio e bulbo. Ognuna di queste strutture assolve ad una particolare funzione, ad esempio il bulbo, tramite una complessa struttura di nuclei, favorisce, il mantenimento di uno stato di allerta e vigilanza, regola il sonno, l'attività respiratoria e cardiovascolare.
- **Diencefalo** si compone di due elementi il talamo e l'ipotalamo. Il talamo riceve informazioni provenienti dai recettori sensoriali e li veicola alla corteccia sensoriali, dopo averle elaborate. L'ipotalamo è coinvolto nell'omeostasi corporea, cioè nel mantenimento costante della temperatura corporea, ad esempio, attraverso la sudorazione; regola l'appetito e il senso di sazietà e di sete; regola la pressione sanguigna, la frequenza cardiaca ed il ritmo sonno-veglia. Produce

diversi ormoni come l'ossitocina, la vasopressina, ormone di rilascio della corticotropina (CHR) ecc.

- **Il cervelletto** è indispensabile nel coordinamento dei movimenti, nella regolazione dell'attività muscolare e delle risposte alla paura e al piacere; è coinvolto anche in importanti funzioni cognitive come il linguaggio, la memorizzazione e l'attenzione. Nonostante le sue dimensioni siano esegue e molto più ridotte a quelle del cervello, contiene circa l'80 % del totale dei neuroni cerebrali¹⁷ (70 miliardi di neuroni vs i 16 miliardi contenuti nella corteccia)

Il sistema nervoso periferico.

Il sistema nervoso periferico consta di quelle strutture anatomiche che sono esterne al cervello e al midollo spinale ed include:

- i nervi cranici, cioè quei nervi che svolgono l'importante funzione di collegare al cervello testa, viso, occhi, naso, orecchie e muscoli;
- I nervi che collegano il resto del corpo al midollo spinale, inclusi i 62 nervi spinali (articolati in 31 paia)
- Tantissime altre cellule nervose dislocate in tutto il corpo, se ne contano più di cento miliardi.

Il sistema nervoso periferico è fondamentale per permettere all'uomo di compiere un movimento. Un'azione si verifica grazie alla comunicazione che intercorre tra il muscolo e il cervello. Lo stimolo al movimento può originarsi sia nel cervello, indicando la volontarietà del movimento, che negli organi sensoriali. Esistono particolari terminazioni nervose cutanee, i recettori sensoriali, che consentono di percepire il dolore o i cambiamenti di temperatura. Le informazioni raccolte tramite i recettori sensoriali vengono trasmesse al cervello, il quale indicherà al muscolo come reagire. Lo scambio di informazioni coinvolge due vie nervose: la prima è rappresentata dai nervi sensoriali che giungono al cervello; la seconda comprende invece il percorso dai nervi motori fino ai muscoli. Come avviene un movimento? Se i recettori sensoriali percepiscono un dolore o una variazione termica inviano un segnale che giungerà sino al cervello; il segnale

¹⁷ Frederico A.C. Azevedo, Ludmila R.B. Carvalho Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain, in *Giornale di Neurologia comparativa*, vol.513 n.5, 2009

attraverserà una sinapsi¹⁸ collocata tra il nervo sensoriale e la cellula nervosa situata nel midollo spinale, da qui l'impulso si sposterà fino alla parte opposta del midollo per poi essere inviato al talamo, attraverso il tronco encefalico. Il talamo è la sede di elaborazione degli stimoli sensoriali e al suo interno l'impulso nervoso attraversa un'ulteriore sinapsi fino a giungere alle fibre nervose che lo condurranno nella corteccia sensoriale¹⁹. Una volta giunto l'impulso nella corteccia sensoriale, l'individuo potrà decidere di eseguire un movimento; in tal caso si attiverà la corteccia motoria per generare un altro nuovo impulso che verrà inviato al midollo spinale, qui attraversa una sinapsi tra le fibre del midollo spinale ed un nervo motorio, collocato anch'esso nel midollo spinale. Gli impulsi si sposteranno mediante il nervo motorio e lasceranno il midollo spinale. Nel punto in cui i nervi si collegano ai muscoli, chiamato giunzione neuromuscolare, lo stimolo si sposta dal nervo motorio alla placca motrice sul muscolo; è proprio con questo passaggio che l'impulso stimola il movimento muscolare.

In taluni casi lo stimolo può bypassare il cervello e giungere immediatamente al midollo spinale, per esempio quando poggiamo la mano su una fonte di calore eccessivo o quando ci tagliamo con un vetro. Dunque, se si percepisce una sensazione improvvisa e forte si otterrà una reazione rapida di un muscolo, definita riflesso spinale.²⁰

Il SNP si articola in sistema nervoso simpatico e sistema nervoso parasimpatico. Il sistema nervoso simpatico è generalmente conosciuto come il sistema del *fight or flight*, cioè di attacco o di fuga. Interviene infatti nelle situazioni di emergenza permettendoci di poter prendere decisioni rapide in momenti di pericolo. I suoi compiti sono altamente complessi e determinano un elevato dispendio di energia: broncodilatazione, vasocostrizione, aumento della frequenza cardiaca, costrizione degli sfinteri ecc.

Il sistema nervoso parasimpatico svolge delle funzioni complementari a quelle del simpatico, viene denominato *rest e digest*; infatti, provvede a ristabilire le condizioni fisiologiche antecedenti ad una situazione di emergenza²¹. Nel sistema simpatico si ha la

¹⁸ Il termine sinapsi deriva dal greco e significa collegamento. In neurofisiologia una sinapsi indica il punto di collegamento tra due neuroni.

¹⁹ La corteccia sensoriale del cervello è l'area che riceve e interpreta le informazioni che provengono dai recettori sensoriali.

²⁰ M. Rubin, Panoramica sul sistema nervoso periferico, manuale MSD versione per i pazienti, in www.msmanuals.com, revisionato dal punto di vista medico in aprile 2022

²¹ E.A. Loiacono, Differenza tra sistema nervoso autonomo simpatico e parasimpatico: anatomia e funzioni, in www.medicinaonline.com, pubblicato il 15 gennaio 2017