

Formazione specializzata e aggiornata sul supporto alle tecnologie avanzate per i professionisti e i laureati per l'educazione e per la cura della prima infanzia



Co-funded by
the European Union



Formazione specializzata e aggiornata sul supporto alle tecnologie avanzate per i professionisti e i laureati per l'educazione e per la cura della prima infanzia

MODULO II

Il primo sviluppo neurologico

Docente

Dr. Elvira Mercado Val
Department of Education Sciences
University of Burgos

e-EarlyCare-T



Formazione specializzata e aggiornata sul supporto alle tecnologie avanzate per i professionisti e i laureati per l'educazione e per la cura della prima infanzia

"Formazione specializzata e aggiornata sul supporto alle tecnologie avanzate per i professionisti e i laureati per l'educazione e per la cura della prima infanzia", e-EarlyCare-T, progetto 2021-1-ES01-KA220-SCH-000032661, è cofinanziato dal programma Erasmus+ dell'Unione Europea, Azione chiave KA220, Cooperazione fra studiosi per Partenariati strategici. Il contenuto della pubblicazione è di esclusiva responsabilità degli autori. Né la Commissione europea né il Servizio spagnolo per l'internazionalizzazione dell'istruzione (SEPIE) sono responsabili dell'uso che può essere fatto delle informazioni qui diffuse".



Indice

1. INTRODUZIONE	4
2. OBIETTIVI	4
3. CONTENUTI SPECIFICI	4
3.1. Sviluppo del cervello: premesse	4
3.1.1 Sviluppo prenatale e postnatale del cervello	5
3.2. il neurosviluppo anatomico	8
3.3. Il neurosviluppo cognitivo funzionale	9
3.3.1. Percezione visiva	10
3.3.2. La memoria	10
3.3.3. Il linguaggio	11
3.3.4. Funzioni esecutive	12
3.4. Plasticità cerebrale nello sviluppo del cervello del bambino	13
3.4.1. Tipi di plasticità cerebrale	13
SINTESI	14
GLOSSARIO	15
BIBLIOGRAFIA	16



1. INTRODUZIONE

Il neurosviluppo è il processo di acquisizione delle competenze in relazione alla maturazione cerebrale del sistema nervoso nel bambino, fino al raggiungimento dello stadio adulto. È un processo che comporta la costante interazione di aspetti biologici e ambientali. In questo capitolo verranno esaminati i processi di neurosviluppo del sistema nervoso da un punto di vista evolutivo, per comprendere l'emergere dei meccanismi dell'attività mentale e del comportamento umano nel bambino.

2. OBIETTIVI

Comprendere le fasi della maturazione cerebrale e gli stadi di acquisizione delle diverse competenze e delle diverse abilità che consentono ai bambini di svilupparsi correttamente nell'ambito del processo di neurosviluppo.

3. CONTENUTI SPECIFICI DELL'ARGOMENTO

3.1. Sviluppo del cervello: premesse

Per quanto riguarda lo sviluppo cerebrale, l'idea più diffusa oggi è che i primi anni di vita siano quelli durante la quale complessità e la funzionalità del cervello aumenta in termini quantitativi. Tuttavia, come Sebastian (2012) sottolinea, un maggior numero di neuroni e connessioni non equivale a un migliore funzionamento del cervello.

Come Ortiz (2018) ha notato, questo neurosviluppo sarà un processo lento che durerà per diversi decenni e non sarà parallelo al neurosviluppo biologico. Lo sviluppo e la maturazione del cervello sono caratterizzati da eventi di lunga durata e eterocronici. Tuttavia, man mano che le strutture cerebrali si sviluppano, le funzioni percettive, motorie, cognitive vengono espresse attraverso comportamenti osservabili. Pertanto, le strutture che si sviluppano più rapidamente manifestano le loro funzioni prima di quelle che si sviluppano più lentamente, come le capacità controllate dalla neocorteccia (Kolb e Whishaw, 2003, Coll, 2011).

Gli esseri umani nascono con un cervello immaturo privo di un sistema cognitivo funzionale ed è proprio questa immaturità che permette all'esperienza di plasmare questo cervello in modo fondamentale. Inoltre, la diversa velocità di maturazione delle diverse strutture corticali sarà determinata dalla genetica e dagli specifici meccanismi di stimolazione che vengono forniti al cervello durante il processo di sviluppo.

Nei primi mesi di vita, la corteccia cerebrale vive una significativa proliferazione di sinapsi (comunicazione neuronale) che porterà alla formazione di sinaptogenesi, seguita da un periodo di potatura sinaptica (eliminazione delle sinapsi, spesso per mancanza di utilizzo).

Un altro degli elementi coinvolti nello sviluppo cerebrale è legato al processo di mielinizzazione dei neuroni, un processo che prevede che gli assoni dei neuroni vengano ricoperti da un rivestimento di tessuto, come una sorta di "isolante", costituito dalla materia bianca che consente una corretta trasmissione dei segnali. È soprattutto nel cervello in via di sviluppo che la quantità di mielina in una certa area cerebrale sarà un buon indicatore dell'uso che verrà fatto di quell'area, perché indurrà lo sviluppo di una certa area corticale e il suo coinvolgimento in successivi processi cognitivi. Come nel caso



dei processi di *sinaptogenesi* e di *potatura sinaptica*, la mielinizzazione ha *tassi diversi di formazione* che *dipendono dal tipo di aree cerebrali in quel momento in via di sviluppo*. Non si tratta quindi solo di quanti neuroni o connessioni sinaptiche esistono, ma anche dalla struttura della materia bianca (assoni e mielina), dei dendriti e dei circuiti neurochimici che modellano il funzionamento del cervello.

Pertanto, si presume (Tabella 1) che sia il processo di potatura sinaptica che il processo di sinaptogenesi siano determinate da meccanismi neurochimici. La presenza di determinate molecole (in specifiche aree cerebrali) rafforzerà o bloccherà la comparsa o la scomparsa di una determinata sinapsi, a seconda dell'attività dei neuroni (Sebastián Gallés, 2012).

Tabella 1. Alcune caratteristiche dello sviluppo del cervello umano. Estratto da García Madruga e Herranz Ibarra, 2010.

Caratteristiche dello sviluppo del cervello umano	
Crescita postnatale del cervello umano	<p>La massa cerebrale quadruplica tra la nascita e l'età adulta.</p> <p>Notevole aumento del numero e della complessità dei neuroni.</p> <p>Notevole aumento della densità delle connessioni sinaptiche in varie regioni della corteccia cerebrale.</p> <p>Aumento del processo di mielinizzazione che consente di migliorare la velocità di trasmissione delle informazioni tra i neuroni.</p>
Perdita o "potatura sinaptica" delle connessioni sinaptiche	<p>Processo di perdita selettiva nello sviluppo cerebrale, osservato principalmente nella densità sinaptica.</p> <p>Modello di aumento iniziale e successiva diminuzione o "potatura" della densità sinaptica che si manifesta a età diverse a seconda delle varie regioni corticali.</p> <p>La sovrapproduzione iniziale di connessioni sinaptiche e la successiva "potatura" sembrano essere legate alla particolare plasticità del cervello infantile.</p>
Plasticità del cervello	<p>La plasticità come proprietà fondamentale dello sviluppo della corteccia cerebrale.</p> <p>Il processo di differenziazione e specializzazione delle diverse aree della corteccia è fortemente influenzato dall'attività neuronale stessa, oltre che da fattori intrinseci legati all'"accensione" automatica (soprattutto nell'infanzia e nell'adolescenza).</p>

3.1.1. Sviluppo prenatale e postnatale del cervello

La complessità del cervello deriva dal preciso processo spazio-temporale dei principali processi di sviluppo cerebrale (Figura 1): regionalizzazione del cervello, migrazione neurale e formazione di sinapsi da parte delle cellule neurali durante il periodo embrionale e perinatale.



Le cellule del sistema nervoso sono formate da una delle tre lamine in cui l'embrione, l'ectoderma, si divide durante un processo chiamato **gastrulazione**. Le cellule staminali della parte mediale dell'ectoderma proliferano a un ritmo estremamente elevato, modificando la morfologia e le dimensioni di questa lamina e dando origine alla placca neurale, formando il tubo neurale (**neurulazione**).

Le **vescicole precursori**, intorno alla quarta settimana gestazionale, formeranno le tre strutture principali che formeranno il futuro cervello.

A loro volta, le cellule staminali del tubo neurale saranno i *futuri neuroni* e le *cellule gliali*. Le cellule che diventeranno neuroni perderanno quindi la capacità di dividersi e saranno cellule specializzate. Per formare le diverse aree del sistema nervoso, i neuroni ancora immaturi migreranno dal luogo di nascita alla loro sede definitiva nel sistema nervoso e, una volta lì, si uniranno con altri neuroni per formare unità funzionali (nuclei e strati corticali).

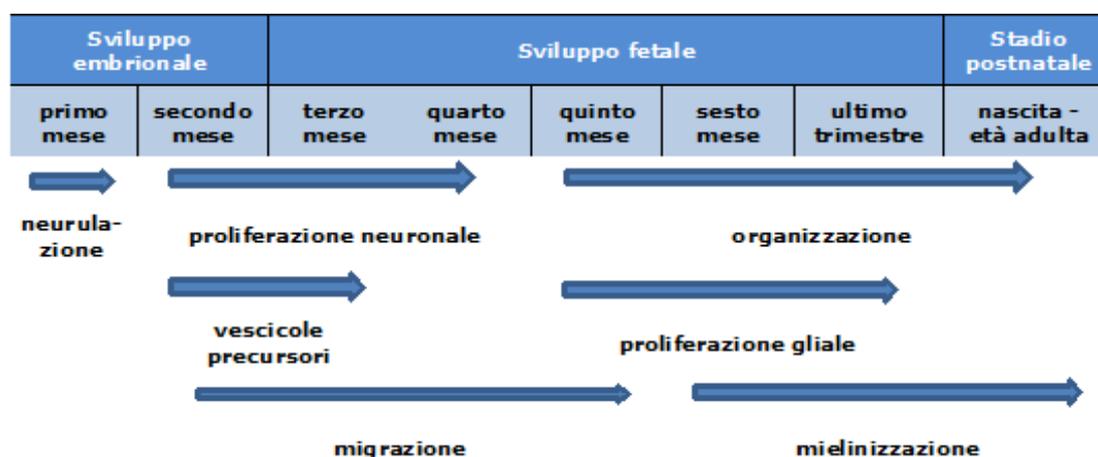


Figura 1. Finestre temporali dello sviluppo del sistema nervoso. Enseñat et al, 2015

Per quanto riguarda la **proliferazione**, detta anche **neurogenesi**, si tratta di un processo che si verifica tra il terzo e il quinto mese di sviluppo fetale e che consiste nella divisione mitotica delle cellule staminali nel tubo neurale per produrre successivamente neuroni e glia.

Parallelamente a questo processo, si verifica anche una **migrazione cellulare**, cioè movimenti o spostamenti massicci di cellule nervose o di cellule precursori al fine di formare popolazioni differenziate di cellule nervose (strati della corteccia cerebrale, nuclei sottocorticali). Sembra che alcune cellule di supporto (glia) aiutino a guidare questo processo di migrazione cellulare.

La formazione delle connessioni sinaptiche (sinaptogenesi) avviene in diversi momenti dello sviluppo. Durante gli ultimi mesi di vita intrauterina e i primi anni dell'infanzia, si formerà un numero straordinariamente elevato di sinapsi, ma molti di questi neuroni scompariranno, mentre si formeranno nuove sinapsi e si modificherà il funzionamento di quelle esistenti. Questo processo, chiamato **riorganizzazione sinaptica**, è fondamentale per la maturazione del cervello e per la conseguente evoluzione delle



capacità mentali. Queste sinapsi dipenderanno in larga misura dal modello di attività elettrica dei neuroni e questo, a sua volta, sarà legato all'uso che se ne fa.

Affinché i neuroni immaturi possano avere le funzioni che li definiscono (elaborazione di segnali chimici ed elettrici), devono acquisire specifiche proprietà elettrofisiologiche e biochimiche e stabilire contatti sinaptici con altri neuroni. Questi neuroni immaturi devono essere in grado di generare e condurre impulsi nervosi (**potenziali d'azione**) per rilasciare alcuni tipi di neurotrasmettitori (sostanze chimiche che servono a comunicare e a provocare un effetto o un altro) e per rispondere ai segnali inviati da altri neuroni. Prima della formazione di queste connessioni sinaptiche, è necessario che si formi l'assone, un prolungamento che nasce dal corpo cellulare e si allunga fino a raggiungere la regione che contiene i neuroni bersaglio con cui si stabiliranno le sinapsi. Devono formarsi anche i dendriti (prolungamenti neuronali specializzati nella ricezione di informazioni).

In diversi momenti dello sviluppo e, secondo (Coll, 2011), in modo molto marcato nella fase perinatale, ha luogo anche un processo apparentemente paradossale, ovvero la **morte cellulare o apoptosi**. Questo processo comporta la morte di molti neuroni che si erano formati nelle fasi precedenti come risultato dell'espressione di geni che attivano l'autodistruzione programmata. Si tratta di un processo che molto probabilmente si attiva nei neuroni che non sono stati in grado di stabilire sinapsi funzionali e quindi non sono stati nutriti da fattori neurotrofici (proteine che garantiscono la sopravvivenza di questi neuroni), dalla formazione di connessioni sinaptiche e dalla plasticità sinaptica.

Durante lo sviluppo del sistema nervoso, quindi, verrà prodotto un numero significativo di neuroni, alcuni dei quali verranno eliminati selettivamente. Verrà prodotto anche un numero molto elevato di sinapsi, che successivamente subiranno un processo di riorganizzazione. Questi fenomeni di **riorganizzazione sinaptica** e di apoptosi finiranno per configurare il tessuto nervoso con un numero di neuroni e di sinapsi inferiore a quello prodotto inizialmente, ma con un funzionamento più efficace (Coll, 2011).

Sviluppo postnatale

In generale, lo sviluppo e la maturazione del cervello sono caratterizzati da una lunga durata e da tempi diversi. Vari aspetti dello sviluppo hanno, dunque, luogo non solo durante l'infanzia, ma anche durante l'adolescenza. In generale, le aree legate alle funzioni sensoriali, motorie e fisiologiche più elementari maturano per prime, mentre le aree legate alle funzioni cognitive complesse hanno processi di maturazione più lenti.

Inoltre, i cambiamenti maturativi nel tessuto cerebrale durante l'infanzia e l'adolescenza mostrano una riduzione del volume della materia grigia e un aumento del volume della materia bianca. La materia grigia è costituita dalle parti di tessuto nervoso che sono composte da corpi neuronali e dendriti, oltre alla maggior parte delle sinapsi, mentre la materia bianca è fondamentalmente costituita da fibre nervose (assoni). Dagli ultimi mesi di gestazione fino a circa due anni di età, si verifica un aumento molto evidente delle sinapsi cerebrali, che si ridurranno, riflettendo una riduzione del volume occupato dalla materia grigia. Questa riduzione è il prodotto di processi di riorganizzazione sinaptica che migliorano l'efficienza del funzionamento del cervello.

A sua volta, l'aumento del volume della materia bianca è da attribuire a una maggiore mielinizzazione degli assoni.



In alcune aree, soprattutto in quelle legate alle cosiddette funzioni esecutive (capacità di pianificazione, inibizione dei pensieri irrilevanti, gestione delle emozioni e monitoraggio), questo processo di mielinizzazione avviene ben oltre la terza decade di vita (Coll, 2011).

3.2. Neurosviluppo anatomico

Come abbiamo visto in precedenza, lo sviluppo e la maturazione della corteccia cerebrale e del SNC, vengono valutati attraverso vari criteri: mielinizzazione, sviluppo degli assoni (proliferazione dei bottoni assionali) *arborizzazione* dendritica, misurazione della neurodensità (sviluppo dei *dendriti* e dei *corpi cellulari*) e *misurazione dello spessore degli strati corticali* (mostrerà il grado di complessità della corteccia) (Guinea, 2003).

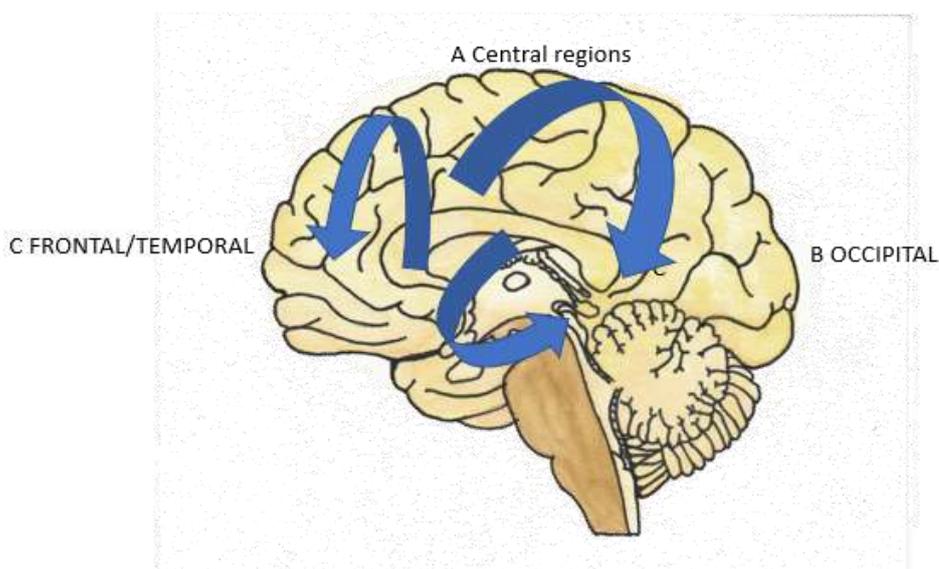


Figura 2. Modelli di mielinizzazione corticale. Basato su Enseñat et al., 2015.

Come abbiamo sottolineato in precedenza, l'emergere di queste funzioni cognitive sarà dato dal processo di mielinizzazione (figura 2). Dapprima saranno operative le aree sensoriali e motorie (area parietale), poi lo sviluppo proseguirà verso le aree visive, situate nel lobo occipitale, per finire, come abbiamo rilevato nel corso di questo capitolo, le funzioni esecutive coordinate nel lobo prefrontale. Questo processo avviene in **modo sequenziale e gerarchico**, seguendo passi coordinati nello sviluppo delle seguenti strutture neuroanatomiche.

1. Tronco encefalico e formazione reticolare. In queste strutture cerebrali si trovano i centri che controllano ritmo veglia-sonno, movimenti respiratori, riflessi della tosse, suzione, deglutizione, pressione sanguigna, movimenti cardiaci e funzioni autonome primarie della vita. Sono le prime strutture a svilupparsi, vitali per la sopravvivenza.

2. Talamo. Il nucleo pulvinare cresce rapidamente tra la XVI e la XXXVII settimana di gestazione. Già a 82-91 giorni si possono osservare afferenze talamiche verso la corteccia prefrontale e occipitale e, successivamente, tra i giorni 145-150, si ha un modello relativamente maturo di proiezioni talamo-corticali, la cui ramificazione è però più estesa che nell'adulto.

3. Gangli della base. Queste strutture svolgono un ruolo importante nel controllo della postura e del movimento volontario. Il putamen si sviluppa a un ritmo più rapido del nucleo caudato nei primi quattro mesi e mezzo di gestazione. Le prime sinapsi si osservano già a 60 giorni nel putamen e a 65 giorni nella testa del nucleo caudato. Queste due strutture, il *putamen* e il *nucleo caudato*, compongono i gangli della base e sono fondamentali, insieme al talamo, alla corteccia cerebrale e al cervelletto, responsabili del controllo motorio. Si noti inoltre che le prime afferenze dal tronco encefalico e dalla *substantia nigra* sorgeranno intorno ai 40 giorni e quelle dalla corteccia prefrontale appariranno intorno ai 70 giorni.

4. Ippocampo. Lo sviluppo di questa struttura cerebrale inizia intorno ai 38 giorni ed è praticamente simultaneo in tutte le aree. Nella seconda metà della gestazione dell'ippocampo compaiono già elementi postsinaptici ben differenziati e si generano già le vie afferenti stabilite.

5. Cervelletto. All'inizio del quinto mese di gestazione, si osserva una corteccia a sei strati nell'area del vermis e nelle aree mediali degli emisferi cerebellari, con uno sviluppo più lento delle loro superfici laterali (da un mese e mezzo a due mesi circa). A sei mesi tutte le aree cerebellari hanno sei strati, anche se gli strati granulari embrionali non scompaiono completamente fino a sette mesi o otto dopo la nascita. Fino al secondo anno di vita, il cervelletto cresce rapidamente fino a raggiungere le dimensioni dell'adulto tra i sei e i nove anni.

6. Aree motorie e sensoriali primarie. La maturazione degli strati della corteccia motoria inizia alla nascita e il suo sviluppo consentirà movimenti riflessi e spontanei degli arti, anche se è necessario del tempo prima che il bambino possa eseguire movimenti coordinati.

7. Aree motorie e sensoriali secondarie. La maturazione di queste aree coincide forse con quella delle aree primarie e terziarie, anche se lo sviluppo di quest'area è più lento e si concluderà intorno al quinto anno di vita. Con la maturazione delle aree secondarie inizia il processo di lateralizzazione delle funzioni e il passaggio dal livello sensoriale-motorio a quello percettivo-motorio. Queste regioni sono essenziali per l'apprendimento nei primi anni di vita.

8. Aree terziarie e posteriori della corteccia cerebrale. Si tratta di aree che corrispondono a una zona di integrazione di stimoli di diverse modalità sensoriali e di produzione di schemi funzionali simbolici. La maturazione di queste aree è fondamentale per l'istruzione; il giro angolare dei lobi parietali ha un ruolo essenziale per l'apprendimento della lettura.

9. Corteccia prefrontale. È la parte della corteccia che si sviluppa per ultima. Non sarà pienamente funzionale prima dei quattro-sette anni di età e continuerà il suo sviluppo fino all'età adulta. È anche denominata neocorteccia. Il processo di differenziazione e di specializzazione delle diverse aree della corteccia è fortemente influenzato dall'attività neuronale stessa, oltre che da fattori intrinseci legati all'"accensione" automatica.

3.3. Il neurosviluppo cognitivo funzionale

Lo sviluppo delle principali funzioni cognitive dipende dalla maturazione dei circuiti cerebrali che le supportano. Comprendere la progressione e il normale sviluppo delle funzioni cognitive è fondamentale per identificare e interpretare eventuali alterazioni di questo sviluppo. La neuropsicologia si concentra sullo studio dei principali processi



cognitivi che si instaurano con lo sviluppo del sistema nervoso. Parleremo qui dello sviluppo maturativo della percezione, della memoria, dell'attenzione, del linguaggio e dello sviluppo delle funzioni esecutive nel loro complesso. (Enseñat, Roig e García, 2015).

3.3.1. Percezione visiva

In generale, è noto che durante il primo anno di vita il sistema visivo subisce importanti cambiamenti funzionali (sia per la regolazione oculomotoria che per l'acuità visiva), mostrando cambiamenti funzionali che diventano dapprima dipendenti da strutture sottocorticali, prima di passare al dominio progressivo dell'elaborazione a livello della corteccia cerebrale.

Per quanto riguarda le due vie responsabili dell'elaborazione del movimento, delle forme degli oggetti, dei luoghi e dei volti (vie ventrali e dorsali), la via ventrale è responsabile dell'elaborazione della forma, mentre la via dorsale è responsabile dell'elaborazione del movimento. La risposta integrata al movimento è considerata più precoce rispetto all'elaborazione integrata della forma. Tuttavia, le prime cose che vengono elaborate sono i volti, gli oggetti e i luoghi. L'elaborazione del movimento, invece, richiede una maturazione più lunga e sembra essere più suscettibile di essere alterata (Enseñat et al., 2015).

Uno dei processi visivi più studiati nella fase infantile è il *riconoscimento dei volti*. Tutte le prove accumulate attraverso la ricerca in questo settore ci portano a concludere che già all'età di 5 anni, o forse prima, si raggiunge una maturità nella percezione dei volti, in parte dovuta a meccanismi genetici e contributi innati. Si può quindi ritenere che i meccanismi adulti utilizzati nella percezione dei volti siano già presenti nell'infanzia. Si tratta di fenomeni associati al riconoscimento dell'individualità e all'apprendimento di nuovi volti, all'elaborazione globale e all'accettazione dell'assenza di alcuni tratti, pur riuscendo a riconoscere il volto precedentemente codificato. (Enseñat et al., 2015).

Inoltre, non va dimenticato che la maturazione di altri processi cognitivi contribuirà a migliorare il riconoscimento dei volti anche dopo la prima infanzia, così come il riconoscimento dei volti; per esempio, il riconoscimento dei volti migliora se si aggiunge lo sviluppo del riconoscimento delle espressioni emotive, legato ai cambiamenti nelle connessioni tra strutture neuroanatomiche come il giro fusiforme e le strutture del sistema limbico (amigdala, ippocampo).

3.3.2. Memoria

L'età in cui si raggiunge la maturità mnesica dipende da diversi fattori. Da un lato, sarà mediata dallo sviluppo di strategie di codifica dipendenti dalla maturazione della corteccia prefrontale e dallo sviluppo del processo mnesico stesso associato alla maturazione del lobo temporale mediale. Ne conseguirà una conoscenza complessiva che migliorerà necessariamente la capacità di memorizzare. Come spiegano Enseñat et al. (2015), un altro fattore determinante è lo sviluppo delle funzioni cognitive di base, come la velocità di elaborazione, l'attenzione, la capacità della memoria di lavoro e l'effetto di funzioni complesse come la capacità di risolvere problemi o la metamemoria (Enseñat, 2015, Ofen, 2012).



Si ritiene che la memoria episodica si sviluppi durante l'infanzia, ma non è chiaro se la maturità venga raggiunta a una certa età o se continui a svilupparsi nel corso dello sviluppo fino all'adolescenza.

Lo sviluppo delle strategie di codifica, nei casi in cui i compiti comportino una maggiore complessità e richiedano l'uso di determinate strategie per ottenere un ricordo libero o un maggiore coinvolgimento dell'ordine temporale, avverrà più tardi (lobo frontale vs lobo occipitale).

D'altra parte, se consideriamo il ruolo importante del lobo temporale mediale per i processi di memoria e i pochi cambiamenti strutturali in questa regione a partire dall'infanzia, si potrebbe ritenere che i processi coinvolti nella memorizzazione, come la memoria associativa, siano maggiormente legati al lobo temporale mediale e maturino prima (Ofen, 2012, Enseñat et al., 2015).

Nel suo complesso, lo sviluppo della memoria episodica emerge dallo sviluppo di una rete cerebrale che comprende almeno l'ippocampo e la corteccia prefrontale. Il ruolo del lobo parietale nello sviluppo della memoria episodica non è così chiaro e si suggerisce che possa funzionare come mediatore attraverso il coinvolgimento dei processi attentivi.

Per quanto riguarda la memoria procedurale, necessaria per il pensiero complesso, sappiamo che, fin dalla più tenera età, i bambini acquisiscono competenze procedurali che serviranno loro in seguito per acquisire nuove abilità. L'età di acquisizione dipende dall'abilità richiesta, dalla frequenza di ripetizione di ciò che viene memorizzato e dalla necessità di usare altre funzioni cognitive. L'apprendimento delle procedure passa prima attraverso una fase esterna, in cui sono necessarie risorse cognitive (memoria a breve termine) perché questo tipo di memoria procedurale possa essere progressivamente convertita in una memoria implicita e automatizzata, in cui il contributo della procedura guidata da dati esterni diminuisce. Tuttavia, sembra difficile che questo approccio possa spiegare l'intero apprendimento procedurale in bambini in cui i meccanismi di apprendimento esplicito e controllo cognitivo non siano ancora stati sviluppati.

D'altra parte, la memoria di lavoro si riferisce alla capacità a breve termine di mantenere e manipolare le informazioni necessarie per guidare un determinato comportamento. In generale, si ritiene che questa capacità subisca un aumento significativo all'età di 11 anni, così come tra i 15 e i 19 anni, raggiungendo i livelli massimi in età adulta. Il suo corretto sviluppo è stato messo in relazione con la maturazione di aree corticali come la corteccia frontale superiore, la corteccia intraparietale e le loro connessioni.

Lo sviluppo di diversi tipi di memoria costituisce la base per l'acquisizione di abilità e conoscenze proprie dell'adulto. La conoscenza delle tappe fondamentali raggiunte durante l'infanzia non solo fornisce informazioni utili per la valutazione clinica, ma ha anche importanti implicazioni per l'educazione.

Tenendo presente che la memoria episodica dei bambini è fondamentalmente associativa (almeno fino alla scuola primaria), è necessario istruirli sull'uso di strategie specifiche per migliorare le prestazioni della memoria in classe (Enseñat et al. 2015)

3.3.3. Il linguaggio

Per quanto riguarda il linguaggio e il suo sviluppo cognitivo nell'infanzia, l'acquisizione del linguaggio, così come quella di altre funzioni cognitive, dipenderà in larga misura dal livello di stimolazione ambientale e dalla corretta maturazione del cervello (Enseñat et



al., 2015). Il corretto sviluppo dei sistemi linguistici dipende dall'interazione con altre reti funzionali responsabili di abilità, come quelle motorie o visuo-spaziali, la memoria, l'attenzione, la capacità di discriminazione acustica e le abilità sociali ed emotive.

Un esempio classico utile per illustrare l'esistenza di periodi critici e sensibili è lo studio dell'acquisizione del linguaggio. È importante notare che non tutte le funzioni del linguaggio vengono acquisite nelle stesse finestre temporali. Sappiamo, ad esempio, che il periodo critico per l'apprendimento dei fonemi si verifica durante il primo anno di vita. Poco dopo la nascita, i bambini sono già in grado di discriminare i contrasti fonetici di lingue diverse, anche se non presenti nella loro lingua madre. (Enseñat et al., 2015).

L'esposizione a un contesto linguistico durante il primo anno di vita permette la specializzazione di questa abilità, portando a una migliore capacità di riconoscere i contrasti fonologici delle lingue presenti nel quotidiano (periodo linguistico). Nei mesi successivi, il bambino impara in media 10 parole al mese fino a superare la cifra di 50 parole. Più tardi, a circa 18 mesi, si assiste a un'esplosione del vocabolario, tanto che il bambino imparerà una media di 30 parole al mese (Enseñat et al., 2015). Intorno al secondo anno di vita, tra i 18 e i 36 mesi, inizia l'apprendimento sintattico. Il bambino è in grado di eseguire e combinare le parole in semplici strutture grammaticali (frasi con due parole) e successivamente, intorno ai 5 anni, aumenterà la complessità delle strutture grammaticali che utilizzerà per l'uso di domande e frasi negative. La complessità delle strutture grammaticali non dipenderà dalla disponibilità di contenuti lessicali e sarà legata alla capacità del bambino di potenziare il suo vocabolario.

A partire dall'età di cinque anni, i bambini iniziano a sperimentare gli usi del linguaggio, per cui usano strategie e chiavi di comunicazione che permettono loro di seguire una conversazione con un'altra persona, di chiarire i fraintendimenti, di perfezionare il livello di comprensione e la produzione narrativa (Enseñat et al., 2015).

3.3.4. Funzioni esecutive

Le funzioni esecutive (EF) si riferiscono a un insieme di funzioni cognitive che permettono di rispettare un programma di lavoro coerente e organizzato verso un determinato obiettivo. Queste funzioni includono la capacità di pianificare e organizzare le informazioni, la flessibilità e la pianificazione, nonché la capacità di controllare gli impulsi (Roselli, 2002). In generale, si ritiene che le aree più critiche per l'emergere delle funzioni esecutive siano nella corteccia prefrontale, nella parte più anteriore del lobo frontale, davanti alle aree motorie. La corteccia prefrontale, e le sue connessioni con altre aree cerebrali affrontano cambiamenti non solo durante l'infanzia, ma anche, in particolare, durante l'adolescenza (Coll, 2011).

Le EF comprendono capacità direttive (funzioni esecutive fredde) e affettive (funzioni esecutive calde). Le prime si riferiscono alla capacità di *pianificare, organizzare, stabilire obiettivi, monitorare il comportamento e risolvere problemi, inibire, usare la memoria di lavoro e la flessibilità cognitiva*. Le seconde includono la capacità empatica, la regolazione emotiva, la teoria della mente e la capacità di prendere decisioni con una componente affettiva, abilità necessarie per regolare i nostri comportamenti e i nostri scopi (Enseñat et al., 2015).

Lo sviluppo del lobo prefrontale inizia nel periodo prenatale, con crescenti cambiamenti metabolici e strutturali durante l'infanzia e l'adolescenza, ma non raggiunge la maturità evolutiva fino ai trent'anni, quando la mielinizzazione sarà terminata. Esiste una maturazione precoce del controllo attentivo e di alcune capacità di memoria di lavoro,



mentre altre abilità più complesse, come la pianificazione e l'organizzazione, vengono acquisite durante l'adolescenza e l'età adulta. Il controllo attento (attenzione selettiva, inibizione della risposta, autoregolazione e autocontrollo) è il primo elemento della funzione esecutiva a maturare. L'abilità di definire gli obiettivi (pianificazione, definizione degli obiettivi e problem solving) è limitata durante la fase infantile. È dall'età di 5 anni che i bambini sono in grado di stabilire obiettivi e piani.

Infine, in relazione alla capacità di prendere decisioni con una componente affettiva, sappiamo che i bambini dai 3 ai 6 anni si basano esclusivamente sulle ricompense immediate. Fino all'adolescenza, questo è il momento in cui si iniziano a prendere decisioni in modo efficace. Questa capacità è stata collegata alla maturazione tardiva delle aree prefrontali ventromediali e orbitofrontali e sembra essere indipendente dai miglioramenti del controllo inibitorio e della memoria di lavoro che si verificano nella stessa fase di sviluppo (Anderson et al., 2008. Enseñat et al., 2015).

3.4. Plasticità cerebrale nello sviluppo del cervello dei bambini

Il Sistema Nervoso Centrale (SNC) ha una notevole capacità di modificare la sua funzione e, in una certa misura, la sua struttura anatomica in risposta all'attività, agli stimoli ambientali, perfino a possibili danni. La plasticità è un processo costante, che può essere osservato in aree diverse: sinaptica, strutturale, dell'organizzazione delle mappe neuronali (Medina et al., 2004). In generale, i cambiamenti determinati da attività come (a seconda delle circostanze) l'apprendimento, la memorizzazione, la costruzione di abitudini, la maturazione e altri, sono associati a cambiamenti corrispondenti nel sistema nervoso.

Il concetto di "plasticità neurale" si riferisce, in circostanze normali, alla capacità del SNC di modellare la propria struttura e funzionare in base all'esperienza, dando luogo a processi di apprendimento, e, in circostanze di perdita patologica, alla capacità di tentare di aggiornare le potenzialità del programma genetico individuale attraverso fenomeni di rimodellamento. Questa proprietà del cervello può essere valutata a molti livelli, dai cambiamenti osservabili nel comportamento alle mappe cerebrali, all'organizzazione sinaptica, all'organizzazione fisiologica e alla struttura molecolare. Per comprendere processi attivi per l'uso della memoria e delle abitudini, per esempio, è necessario comprendere la natura della plasticità cerebrale.

La dotazione genomica consente, quindi, un margine di adattabilità nel gestire le informazioni e anche nel tentare compensazioni anatomo-funzionali dopo aver subito un'aggressione patogena (Narbonne et al., 2012).

3.4.1. Tipi di plasticità cerebrale

L'apprendimento e la memorizzazione di nuove informazioni sono legati a diversi tipi di cambiamento nelle cellule del sistema nervoso (neuroni). Si tratta di cambiamenti che si pensa costituiscano la registrazione neurologica delle informazioni apprese, come dimostrato da Grenough e Black (1992) e Coll (2011). Esistono tre tipi principali di plasticità: quella dello sviluppo, quella innescata dall'esperienza durante la vita, quella innescata da danni, perdita di afferenze o alterazioni dell'attività cerebrale.



1. Plasticità dipendente dalle esperienze collettive attese. Questo tipo di plasticità comporta cambiamenti sinaptici prodotti dall'ambiente e comuni a tutti i membri della specie, attesi in determinati momenti dello sviluppo (esperienze). Come abbiamo visto in precedenza, si verifica inizialmente una sovrapproduzione di sinapsi, seguita dalla perdita di neuroni (Coll., 2011). È limitata, durante lo sviluppo, a periodi di massima suscettibilità a determinate variabili ambientali (periodi critici o sensibili). Dopo questi periodi critici, tali esperienze hanno un'influenza molto più limitata sul cervello e sulle sue connessioni. Il meccanismo di selezione del modello di organizzazione del SNC è dunque determinato in modo permanente e talvolta irreversibile. Questo meccanismo permette ai geni di codificare la natura delle connessioni da stabilire, fin dal periodo fetale e poi nel periodo postnatale, quando ci si aspetta che il bambino faccia esperienza di episodi fondamentali - comuni a tutta la specie - quali l'esposizione alla luce e al suono, per preservare le connessioni sinaptiche del sistema percettivo precedentemente stabilite, della vista e dell'udito. (Siegel, 2016).

2. Plasticità dipendente dall'esperienza. Il secondo tipo di plasticità riflette i cambiamenti prodotti dalle informazioni assorbite dall'ambiente che possono essere uniche per un particolare individuo (l'apprendimento specifico del vocabolario, per esempio) e che vengono sperimentate durante l'intero ciclo di vita. Questa plasticità non è limitata a periodi di tempo determinati. Questo tipo di plasticità ha la sua più intensa attività durante l'infanzia e l'adolescenza. Resta attiva per tutta la vita, tranne che nel caso di malattie neurodegenerative o di disturbi del neurosviluppo. Viene attivata dalla individuazione di relazioni importanti tra stimoli rilevanti (apprendimento e memoria) o da alterazioni della situazione stimolante (lesioni, perdita di arti). Questo tipo di plasticità attiva esclusivamente il meccanismo genetico impegnato nella creazione di sinapsi, che dipende indubbiamente dall'insieme di esperienze che l'hanno precedentemente innescata. Questo tipo di plasticità è temporanea e soggetta a cambiamenti determinati dall'esperienza (Siegel, 2016).

3. Plasticità indipendente dall'esperienza. Si tratta di una risposta alle variazioni del numeriche e/o funzionali delle sinapsi attivate dall'espressione programmata di alcuni geni e senza l'azione di fattori esterni o esperienziali. Questo tipo di plasticità consente un adattamento ottimale del comportamento all'ambiente che cambia. Si tratta di esperienze possibili grazie all'avvallo delle tecniche di stimolazione sensoriale e di apprendimento, anche se questo effetto (aumento delle sinapsi nelle aree corticali coinvolte) è particolarmente evidente nei periodi "sensibili" o critici dello sviluppo precoce, sebbene sia dimostrato anche nel cervello adulto (Castaño, 2002).

Oggi, le due denominazioni "plasticità dipendente" e "plasticità indipendente" vengono entrambe usate, ma, a volte, "plasticità dipendente dall'esperienza" è usato per riferirsi sia alla plasticità dello sviluppo sia a quella presente nel resto della vita.

SINTESI

In questo capitolo sono stati affrontati i concetti principali del neurosviluppo precoce, sia dal punto di vista neuroanatomico che dal punto di vista funzionale. Sono stati analizzati i principali processi neuroanatomici coinvolti nello sviluppo cognitivo, motorio, affettivo e funzionale del bambino, così come i fenomeni di plasticità cerebrale coinvolti nel neurosviluppo.



GLOSSARIO

Apoptosi. Consiste nel causare la morte programmata di diverse cellule. Questo processo è il risultato di uno sviluppo adattativo necessario per un sistema nervoso efficiente.

Differenziazione. Processo attraverso il quale le cellule diventano più specializzate. Nelle prime fasi dello sviluppo embrionale, le cellule sono simili tra loro, ma in seguito si specializzano e acquisiscono caratteristiche specifiche quando fanno parte di diverse strutture del sistema nervoso.

Eterocronia. Processo biologico che comprende tutti i cambiamenti di ritmo dei processi ontogenetici che danno luogo a trasformazioni di forma e dimensioni degli organismi.

Filogenesi. Lo sviluppo storico e generico di una specie.

Mielinizzazione. Rivestimento degli assoni con una guaina mielinica per consentire un'adeguata trasmissione degli impulsi nervosi.

Migrazione cellulare. Movimenti o spostamenti di massa di cellule nervose o di cellule precursori, al fine di stabilire popolazioni differenziate di cellule nervose (strati della corteccia cerebrale, nuclei subcorticali). Sembra che alcune cellule di supporto (glia) aiutino a guidare questo processo di migrazione cellulare.

Neurogenesi, anche denominata proliferazione. Un processo che consiste nella divisione mitotica delle cellule staminali nel tubo neurale per produrre neuroni e glia.

Neurulazione. Meccanismo anembrionale in cui si forma il tubo neurale.

Ontogenesi. Lo studio dello sviluppo individuale di un organismo.

Potatura sinaptica. Processo di eliminazione delle connessioni sinaptiche che il cervello non utilizza durante lo sviluppo; avviene nelle due fasi evolutive dell'infanzia e dell'adolescenza.

Potenziale d'azione. Scarica elettrica che viaggia lungo la membrana cellulare modificando la distribuzione della carica elettrica. È necessaria per realizzare la sinapsi elettrica e la successiva sinapsi chimica.

Riorganizzazione sinaptica. Perdita di alcune sinapsi e sviluppo di nuove per migliorare l'efficienza delle connessioni sinaptiche.

Sinaptogenesi. L'instaurarsi di connessioni sinaptiche con lo sviluppo del tessuto neuronale e la crescita di assoni e dendriti.



BIBLIOGRAFIA

Arroyo, H. A. (2017). Brain plasticity and neurodevelopmental disorders. In: Fejerman, N., Grañana, N. (2017). Child neuropsychology. Paidós.

Brailoswky, S., Stein, D.G., Will, B. (1998). Broken brain, brain plasticity and functional recovery. FCE, Conacty.

Coll, M. (2011). Brain plasticity and experience: Neurobiological foundations of education. XII International Congress of Theory of Education. <http://www.cite2011.com/Ponencias/MColl.pdf>

García Madruga, J. A., Herranz Ybarra, P. (2010). Biological and motor development. In: Del Val, J. (2010). Developmental psychology. UNED.

Greenough, W., & Black, J. (1992). Induction of brain structure by experience: Substrate for cognitive development. En M. R. Gunnar & C. A. Nelson (Eds.), Minnesota symposia on child psychology 24: Developmental behavioral neuroscience (pp. 155-200). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Enseñat Cantalops, A., Roig Rovira, T., Garcia Molina, A. (2015). Paediatric neuropsychology. Editorial Síntesis.

Fejerman, N., Grañana, N. (2017). Child neuropsychology. Paidós.

Kolb, B., Whishaw, I. Q. (2006). Human Neuropsychology. Pan American Physician.

Martínez-Morga, M., Martínez, S. (2016). Development and plasticity of the brain. *Revneuro*, 62 (Suppl. 1): S3-S8.

Medina, M., A., Escobar B, M. I. (2004). Neural plasticity and its relationship with the glutamate transporter system. *Colombian Association of Psychiatry*, No. 1, (155S-164S).

McKay, K., Halperin, J., Schwartz, S y Sharma. (1994). Developmental analysis of three aspects of information processing: sustained attention, selective attention, and response organization. *Developmental Neuropsychology*, 10, 121- 132

Narbonne, J., Crespo-Eguilaz, N. (2012). Brain plasticity for child and adolescent language. *Revneuro*. 54 (Suppl1): S127-S130.

Roselli, M. (2002). Brain maturation and cognitive development. *Neurosciences and Higher Functions*. PhD seminar in Social Sciences, childhood and youth.

Sebastián Galles, N. (2012). Developmental Educational Neuroscience: The Preschool Period. *Educational Participation*, Vol, 1: 33-38.

Ofen, N. (2012). The development of neural correlates for memory formation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*; 36: 1708-1717.

Ortiz, T. (2018). Neuroscience in school: Hervat: neuroeducational research for learning improvement. Madrid. SM Editions.

