

ADOLESCENZA: ISTRUZIONI PER L'USO

Chiara Ceci, Simone Macrì

*Dipartimento di Biologia Cellulare e Neuroscienze, Istituto Superiore di Sanità, Roma
email: simone.macri@iss.it*

Introduzione

L'adolescenza, generalmente definita come il periodo di transizione che va dall'infanzia all'età adulta, è una tappa fondamentale nella vita di ciascuno di noi e comprende un lasso di tempo che va mediamente dai 12 ai 19 anni. In questo periodo ha luogo una serie di sconvolgimenti a livello corporeo, endocrino, cerebrale e comportamentale. I cambiamenti osservati differiscono in maniera sostanziale tra ragazzi e ragazze: i primi segni dello sviluppo femminile sono la crescita del seno e, a distanza di circa un anno, la comparsa del primo ciclo mestruale (mediamente intorno ai 13 anni). Nel maschio, si osservano un'improvvisa crescita dei genitali esterni, e la comparsa dei peli sul viso, sul torace, sull'addome e sul pube. La laringe si ingrossa, le corde vocali si allungano e il tono della voce si abbassa.

Per quanto riguarda i cambiamenti a livello cerebrale, lo sviluppo di metodiche sofisticate quali la risonanza magnetica funzionale (*functional Magnetic Resonance Imaging*, fMRI) ha permesso di osservare nel dettaglio i cambiamenti morfologici cerebrali durante lo sviluppo. In particolare, la tecnica fMRI permette di analizzare come il cervello si sviluppi in funzione dell'età. In termini semplificati, potremmo dire che questa tecnica permette di scattare delle fotografie del cervello in tempi diversi. Il ricercatore nordamericano Jay Giedd, presso il *National Institute of Mental Health* (NIMH), ha analizzato il corso di maturazione cerebrale in individui sani dall'età di due anni fino ai 16 e ha riscontrato un diverso livello di maturazione tra le aree cerebrali; in particolar modo, la corteccia prefrontale, che è l'area deputata al controllo degli impulsi, sembra non avere una maturazione completa durante il periodo adolescenziale. La maggior parte degli adolescenti presenta inoltre alcuni tratti comportamentali specifici: ricerca attiva di sensazioni nuove (in inglese *novelty seeking*), propensione a correre dei rischi (guida in stato di ebbrezza, utilizzo di sostanze d'abuso come cannabis, eroina, cocaina, rapporti sessuali non protetti) ed elevata impulsività.

Per cercare di comprendere l'interconnessione tra questi comportamenti e le sottostanti strutture cerebrali, e come lo sviluppo di queste ultime possa regolarli, è utile descrivere le peculiarità a livello sociale e comportamentale degli adolescenti. Una delle funzioni principali dell'adolescenza è quella di permettere all'individuo di affrancarsi dagli schemi genitoriali di appartenenza per raggiungere l'indipendenza tipica dell'età adulta. Al fine di raggiungere questo scopo, l'adolescente smette di definirsi soltanto in rapporto agli adulti presenti in casa e a scuola, e ricerca altre figure come modello. Spesso tale guida viene ricercata all'interno del gruppo dei pari. Questo spostamento, dall'ambiente ristretto della famiglia a quello più allargato

dell'interazione con i pari, ha la funzione di promuovere la ricerca di un'indipendenza necessaria al successivo sviluppo individuale. Tale indipendenza, tuttavia, si associa frequentemente all'espressione di condotte che, come accennato in precedenza, spesso appaiono come devianti o quantomeno pericolose. Tali comportamenti però rientrano in una generale fase di sperimentazione atta a promuovere l'abbandono della gestione genitoriale e del "nido" strutturato e protetto da parte dell'individuo.

Comportamenti a rischio degli adolescenti: a cosa servono?

Gli adolescenti mostrano una notevole propensione alla ricerca di nuovi stimoli; questa ricerca è frequentemente condotta assieme ad altri individui, generalmente appartenenti alla stessa fascia di età e solitamente identificati come figure di riferimento. Questi ultimi sembrerebbero esercitare un ruolo di guida nella ricerca di nuove emozioni. Tale ricerca di novità, tuttavia, è frequentemente costellata di rischi potenziali. In particolare, essa si associa frequentemente all'espressione di condotte che spesso appaiono devianti, come per esempio la ricerca e il consumo di sostanze psicoattive, guida spericolata e rapporti non protetti. È importante notare come la ricerca di novità, una maggiore propensione verso il rischio, un ridotto controllo degli impulsi e l'esibizione di comportamenti inappropriati al contesto durante l'adolescenza non siano prerogative umane, ma si osservino anche in specie animali diverse dalla nostra. In particolare, gli adolescenti appartenenti a numerose specie di mammiferi mostrano un'elevata frequenza di comportamenti diretti all'esplorazione dell'ambiente circostante. Questo atteggiamento è funzionale all'abbandono del nido e al reperimento di nuove risorse, funzionali alla sopravvivenza individuale e della specie, quali partner per la riproduzione e fonti di cibo. Questa continua ricerca di situazioni nuove può aumentare la possibilità di incorrere in esiti sfavorevoli, come l'incontro di un predatore. Ci troviamo quindi di fronte a un fenomeno, quello della ricerca della novità durante l'adolescenza che, da una parte è fondamentale al reperimento di nuove risorse, al raggiungimento dell'indipendenza e quindi alla sopravvivenza, e dall'altra comporta dei rischi legati all'esplorazione di ambienti ignoti. Questa necessità biologica, che in specie animali distanti dalla nostra aumenta il rischio di essere predati o di confrontarsi con l'assenza di cibo, nella nostra specie assume connotazioni anche più ampie. In particolare, i ragazzi e le ragazze sono maggiormente esposti ai seguenti rischi: incidenti stradali, gravidanze indesiderate, malattie sessualmente trasmesse (es. l'AIDS), abuso di sostanze e sviluppo di tossicodipendenza.

Analisi epidemiologiche negli Stati Uniti concordano nel riportare come gli individui adolescenti risultino maggiormente implicati in comportamenti a elevato rischio rispetto agli individui adulti. In particolare si riscontrano elevati livelli di consumo di sostanze psicotrope come l'alcol, la nicotina e le droghe illegali con maggiore incidenza nella fascia d'età che va dai 15 ai 26 anni. Tale ricerca di "sensazioni forti" sembra essere altamente correlata alla necessità continua di sperimentare sensazioni varie, nuove e complesse, che si suppone abbiano una valenza gratificante.

Oltre all'interazione con i propri coetanei, fattori individuali (quali personalità e predisposizioni biologiche) contribuiscono ad aumentare il rischio di incorrere in problemi legati all'uso e all'abuso di sostanze psicotrope. Tra i fattori individuali,

le caratteristiche della personalità che consistono nella “propensione a correre dei rischi” e nella “ricerca attiva di sensazioni” ricoprono un ruolo rilevante. Del resto, un gran numero di studi ha mostrato che l'impulsività (ridotto autocontrollo) e la ricerca di sensazioni sono tratti del carattere frequentemente associati all'uso di sostanze psicotrope. Ad esempio, studi condotti sugli adolescenti, in cui si è cercato di correlare l'uso di tabacco, alcol o marijuana con i risultati di test di personalità hanno dimostrato che l'uso di tali sostanze sarebbe particolarmente elevato in soggetti che presentano specifici tratti comportamentali, quali elevata propensione per il rischio, impulsività e marcata ricerca di sensazioni. Queste differenze personali, misurabili mediante test psicometrici, sembrerebbero inoltre associate a differenze inter-individuali nella risposta fisiologica sia a stimoli naturali sia alle droghe d'abuso.

Come per gli altri tratti comportamentali, anche per la ricerca di sensazioni è stato elaborato e proposto un modello biochimico che mette in relazione la funzione di dopamina (DA), noradrenalina (Ne) e serotonina (5-HT), con determinati tratti della personalità. Queste sono molecole che veicolano le informazioni fra i neuroni, attraverso la trasmissione sinaptica. In particolare, l'attività di questi neurotrasmettitori può essere correlata ad alcune caratteristiche fondamentali del temperamento quali impulsività, aggressività, ricerca di gratificazione legata all'assunzione di droga o stimoli che provocano piacere. L'esperienza del piacere, nelle sue varie forme, dipende dall'attivazione del cosiddetto “circuito neurale del rinforzo”. Questo circuito si è evoluto per guidare l'individuo verso il raggiungimento di scopi biologici essenziali per l'adattamento. In condizioni naturali, questo sistema viene attivato da quegli stimoli detti “rinforzi naturali” come cibo e sesso. Le droghe sono in grado di stimolare direttamente il circuito neurale del rinforzo (spesso con un'intensità nettamente maggiore di quello che accade con i rinforzi naturali) in assenza di qualunque evento naturale.

Perché le droghe sono così attraenti?

Le sostanze stupefacenti producono degli “stati mentali alterati” perché agiscono sul sistema nervoso centrale, la maggior parte di esse interferendo direttamente con la trasmissione sinaptica. Molte delle droghe di cui si abusa agiscono direttamente sui sistemi noradrenergico, dopaminergico e serotonergico.

Al fine di analizzare i substrati biologici sottostanti alla modulazione motivazionale delle esperienze legate all'assunzione di droghe, una strategia utile è quella di analizzare lo stadio di sviluppo dei sistemi neurobiologici coinvolti. In particolare è da considerare l'importanza che alcuni sistemi neurotrasmettitoriali (e nello specifico il sistema dopaminergico mesencefalico) rivestono nei processi della gratificazione conseguente l'assunzione di droghe. Il sistema dopaminergico mesencefalico consiste di neuroni dopaminergici, ovvero neuroni che sintetizzano e rilasciano, dalle terminazioni sinaptiche, la dopamina. Questa esercita numerose funzioni a livello cerebrale: in particolare essa gioca un ruolo centrale nel comportamento, nella cognizione, nel movimento volontario, nella motivazione, nella percezione del piacere, nella regolazione di sonno, umore, attenzione, memoria e apprendimento. I corpi cellulari di tali neuroni si trovano in due nuclei situati nel mesencefalo (porzione centrale del cervello), la *substantia nigra* e l'area tegmentale ventrale (*Ventral Tegmental*

Area, VTA). I loro assoni decorrono in avanti, attraversano l'ipotalamo laterale, e innervano una molteplicità di strutture del telencefalo (area anteriore del cervello), tra cui la corteccia prefrontale, le strutture limbiche, e il corpo striato (*caudato-putatem*).

Il sistema dopaminergico mesencefalico, tramite il fascio mediale prosencefalico attraversa e forma connessioni strette con l'ipotalamo laterale. Il primo sembra essere implicato nella dipendenza da sostanze psicoattive. In particolare, studi condotti su animali da laboratorio, quali ratti e scimmie, hanno dimostrato come questi siano in grado di apprendere a premere ripetutamente una leva al fine di somministrarsi droghe quali amfetamina e cocaina (auto-somministrazione). Gli stessi studi hanno dimostrato che lesioni a carico del sistema dopaminergico mesencefalico inibiscono questa capacità. In altre parole, la rimozione dell'area che segnala la "piacevolezza" di un determinato stimolo – le droghe d'abuso, in questo caso – comporta la cessazione (estinzione) del comportamento di auto-somministrazione. Si ritiene pertanto che l'attivazione dopaminergica determini una condizione di gratificazione per l'animale che rinforza il comportamento d'abuso. L'ipotalamo è sede di aree implicate nel controllo di funzioni vitali di elevata importanza per l'organismo, come ad esempio quella alimentare e quella sessuale. L'interconnessione fra le due strutture rappresenta un possibile substrato neurobiologico ove pulsioni e gratificazione possono interagire. Questa interazione si basa su una serie di evidenze sperimentali ormai consolidate.

Livelli crescenti di motivazione alimentare, che possono essere raggiunti privando gli animali di cibo, portano a un incremento dell'auto-stimolazione, mentre in seguito all'iniezione di una soluzione zuccherina, la frequenza con cui l'animale si auto-stimola decresce. In seguito a castrazione, e quindi a diminuzione della motivazione sessuale, l'auto-stimolazione diminuisce; viceversa, tramite l'iniezione di ormoni sessuali, l'animale si auto-stimola in misura maggiore. Ciò indica che l'attività dell'ipotalamo laterale e degli ormoni sessuali sarebbe in grado di modulare la risposta del sistema dopaminergico mesencefalico. In base alle conoscenze attuali, la risposta a pulsioni primarie, quali per esempio il mangiare e l'accoppiarsi, avverrebbe in quanto sarebbe accompagnata dall'attivazione del sistema dopaminergico mesencefalico. In assenza di tale attivazione, l'animale cesserebbe di rispondere appropriatamente.

Molti dei farmaci e delle sostanze psicotrope che agiscono sul sistema nervoso centrale possono provocare modificazioni dello stato emotivo interno. Queste modificazioni possono essere considerate piacevoli (rilassamento psichico, sonnolenza, euforia, eccitazione) o spiacevoli (ansia, paura, depressione, allucinazioni). Allo stesso modo, la somministrazione di un farmaco può risultare, anche per l'animale, un evento positivo o negativo. Tra i farmaci psicoattivi maggiormente gratificanti (sia per l'animale sia per l'uomo) si annoverano: oppiacei (morfina, eroina), psico-stimolanti (amfetamina, cocaina), ansiolitici (etanolo, benzodiazepine). Queste sono anche le droghe di cui l'uomo fa più largo uso e abuso. Ciò non è un caso, in quanto il fatto che una determinata sostanza risulti gratificante è senza dubbio una delle ragioni principali che spingono gli esseri umani a utilizzarla.

Nell'ambito delle teorie del rinforzo, si può affermare che un particolare comportamento, in questo caso l'utilizzo di una determinata sostanza, è rinforzato dal fatto di sperimentarne gli effetti gratificanti. Il fattore motivante alla base dell'uso di sostanze psicotrope corrisponderebbe alla gratificazione che ne consegue.

Il cervello adolescente: acceleratore senza freni

La presenza di ovvie differenze a livello comportamentale tra bambini, adolescenti e adulti è stata fonte di interesse e curiosità nel corso della storia dell'umanità. Soltanto negli ultimi venti anni si è iniziato a comprendere come queste differenze siano ascrivibili a diversi livelli di maturazione cerebrale; in particolare, studi recenti hanno mostrato come le aree del cervello preposte alla soddisfazione degli istinti maturino molto prima rispetto a quelle preposte all'autocontrollo degli impulsi e, per così dire, alla saggezza. Questi studi sono stati resi possibili dalla tecnica fMRI. Jay Giedd ha quantificato lo sviluppo corticale umano misurando la densità della sostanza grigia e della sostanza bianca in ciascun lobo, punto per punto. Questi studi hanno mostrato che il cervello durante l'adolescenza presenta alcune aree che hanno raggiunto un livello di maturazione pari a quello degli individui adulti, e altre aree ancora in fase di sviluppo organizzativo (Figura 1).

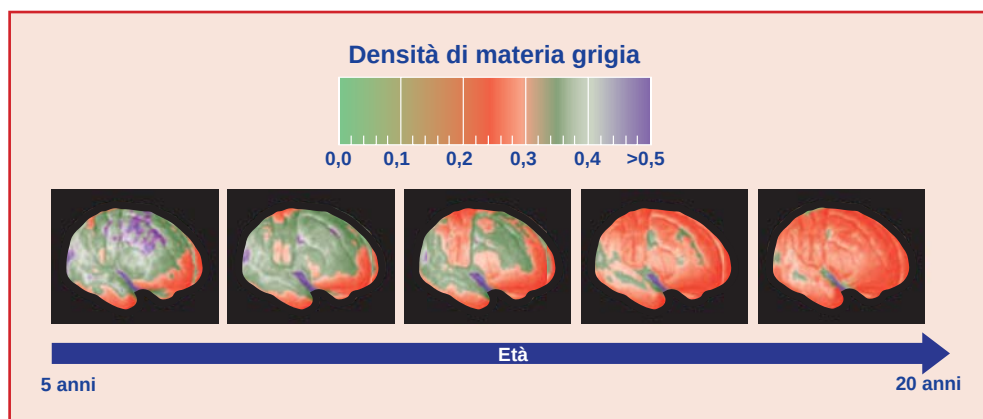


Figura 1. Maturazione della materia grigia in diverse età

In particolare, la corteccia prefrontale, che è l'area responsabile del comportamento volontario e che potrebbe spiegare alcune delle più importanti differenze comportamentali tra adolescenti e adulti, va ancora incontro a profondi mutamenti. Nello specifico si è osservato un intenso rimodellamento della materia grigia cerebrale durante lo sviluppo. Dalle immagini di fMRI è stata costruita una mappa del cervello di 13 bambini seguiti per un periodo di 10 anni. I bambini sono stati sottoposti a scansioni fMRI ogni due anni, per otto anni dal momento del reclutamento, e a una serie di colloqui diagnostici strutturati per escludere la presenza di disturbi psichiatrici. Lo studio ha misurato quali aree cerebrali si modificano nel corso del tempo, tra i due e i 16 anni di età. È stata osservata un'iniziale perdita di sostanza grigia intorno ai 4-8 anni nelle aree parietali dorsali e sensori-motorie, estendendosi lateralmente e caudalmente nelle cortecce temporali e anteriormente nelle aree prefrontali dorsolaterali. Le prime aree cerebrali a maturare sono quelle preposte alla gestione delle funzioni primarie (sensori-motorie). Le aree preposte al controllo di funzioni più avanzate, coinvolte nell'orientamento spaziale, nel linguaggio, nel ragionamento e nel controllo degli impulsi come la corteccia prefrontale, maturano per ultime, in tarda adolescenza.

Durante l'infanzia, la materia grigia cerebrale va incontro a una fase di ispessimento, seguita da un processo di assottigliamento adolescenziale che terminerà nell'età adulta. L'andamento volumetrico della materia grigia corticale quindi tende a seguire una forma a "U" rovesciata, con picchi di volume in tempi e lobi differenti. Giedd, così come molti altri neuroscienziati, ritiene che la diminuzione dello spessore della materia grigia corticale sia una conseguenza del *pruning* o "soltimento sinaptico", cioè il processo di eliminazione delle connessioni nervose che darà luogo alla specializzazione delle connessioni e quindi a una maggiore efficienza di trasmissione a livello di specifiche zone cerebrali. Quindi, mentre le aree legate a funzioni primarie come movimento e soddisfazione degli impulsi maturano relativamente presto, altre aree, deputate al controllo degli impulsi, del giudizio e della capacità di prendere decisioni, come la corteccia prefrontale (Figura 2), mostrano uno sviluppo più tardivo. Solitamente questa crescita asincrona del cervello è descritta come gradiente di maturazione postero-anteriore. Questo termine indica che il *pruning* inizia dai lobi posteriori per interessare per ultimo i lobi prefrontali. Pertanto le parti cerebrali connesse alla responsabilizzazione e all'autocontrollo sono meno sviluppate negli adolescenti rispetto agli adulti, e questo potrebbe dare in parte una spiegazione del manifestarsi di particolari comportamenti (soprattutto quelli "a rischio") dei giovani. Per riassumere, durante l'adolescenza, il cervello umano è composto da aree preposte alla soddisfazione degli istinti ben sviluppate e da aree preposte all'autocontrollo ancora immature: un acceleratore senza freni.

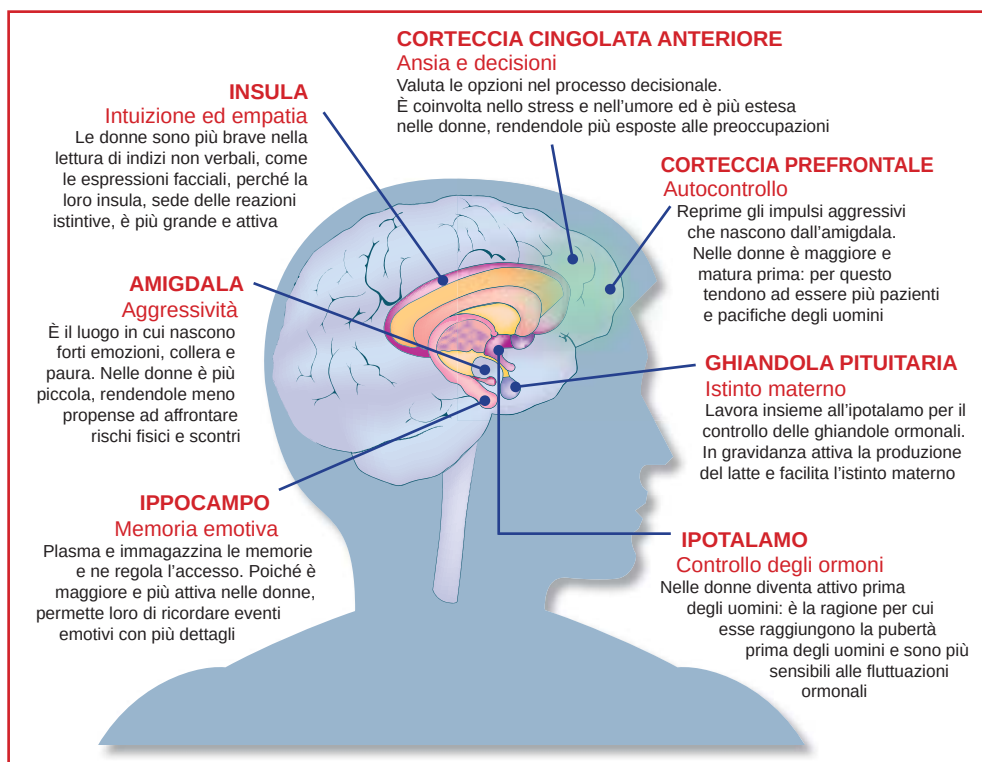


Figura 2. Porzioni del cervello che sono ancora in fase di sviluppo durante l'adolescenza

Questo sviluppo asincrono rende il cervello (e quindi l'individuo) particolarmente sensibile e quindi vulnerabile alle influenze dell'ambiente. Si ritiene che a tale immaturità di alcune aree cerebrali possa essere ascritta l'elevata insorgenza di disturbi dell'umore e della condotta proprio durante la tarda infanzia e l'adolescenza.

Non siamo gli unici adolescenti sulla terra

Come descritto in precedenza, nell'uomo, la fase adolescenziale si associa a un elevato numero di cambiamenti di tipo psicologico, biologico e comportamentale. Questa repentina quanto tumultuosa serie di sconvolgimenti dell'"ambiente interno" tipica degli adolescenti, sembra caratterizzare anche mammiferi appartenenti a specie animali diverse dalla nostra. Nell'ambito di una maggiore e sempre più approfondita comprensione del mondo adolescenziale risulta quindi utile, se non necessario, il riferimento a modelli animali adeguati allo studio di questa fase evolutiva.

Modelli sperimentali, che si avvalgono di osservazioni condotte su roditori quali ratti e topi, hanno permesso di evidenziare una serie di caratteristiche comportamentali e fisiologiche assimilabili a quelle riscontrate in soggetti umani. Descriveremo ora alcune evidenze sperimentali in grado di mostrare la presenza di un'elevata somiglianza tra esseri umani e roditori (topi e ratti) in una serie di tratti comportamentali (propensione per la novità e per situazioni "a rischio" associate all'esperienza di ridotti livelli di ansia, elevata esplorazione di ambienti nuovi e potenzialmente rischiosi) e biologici (stadio di sviluppo delle vie corticali implicate nelle risposte appena descritte).

L'utilizzo di specie animali diverse dalla nostra, e generalmente definite "a sviluppo neurologico inferiore", permette di condurre studi che per motivi tecnici, metodologici ed etici non si potrebbero effettuare su esseri umani.

Determinate caratteristiche comportamentali, tra cui l'elevata propensione all'esplorazione di ambienti non conosciuti, sono comuni e molto evidenti in soggetti giovani di diverse specie di mammiferi. Per approfondire la natura di tali processi e dei sottostanti meccanismi neurobiologici, sono state sviluppate diverse procedure sperimentali. Una di queste, la *novelty seeking*, permette di studiare l'approccio a un ambiente sconosciuto e potenzialmente pericoloso. Durante un periodo di addestramento, topi adulti e adolescenti, vengono immessi per tre giorni in un compartimento di un apparato sperimentale diviso in due parti. Al quarto giorno, in seguito alla rimozione di un divisorio, ai topi viene permesso di muoversi liberamente dal compartimento familiare verso un ambiente (l'altro lato dell'apparato) a essi sconosciuto. Tutti i soggetti, sia adolescenti sia adulti, mostrano uno stato di eccitazione motoria iniziale dovuto all'esperienza della novità e una spiccata preferenza per l'ambiente nuovo. Gli adulti mostrano una preferenza per l'ambiente nuovo significativamente decrescente con il passare del tempo, mentre gli animali adolescenti trascorrono una percentuale più elevata di tempo nel compartimento nuovo, sia all'inizio sia alla fine del test, indicando che un livello più elevato di ricerca di nuove sensazioni può essere considerato caratteristico di questa età. L'esperienza della novità è associata, a livello cerebrale, all'attivazione dei neuroni del sistema dopaminergico mesolimbico. In particolare, è stato riportato un innalzamento dei livelli di dopamina nel *nucleus accumbens*. Una ulteriore conferma deriva dal fatto che la lesione di questa area, indotta tramite una neurotossina, è in grado di inibire l'espressione del

comportamento di *novelty seeking*. Effettivamente, quest'area cerebrale è coinvolta nei processi di gratificazione, indotti sia da stimoli naturali salienti sia dalle droghe di abuso. Quindi, i soggetti adolescenti non solo trascorrono una maggiore quantità di tempo a esplorare un ambiente sconosciuto, ma a questa esplorazione è anche associata una elevata gratificazione a livello cerebrale. Sulla scia di queste ultime considerazioni sembra possibile affermare che la soddisfazione di una pulsione, come quella per stimoli nuovi, presenti numerose similarità con l'esperienza di altre gratificazioni naturali (es. appagamento alimentare o sessuale) o derivanti da stimolazione farmacologica (es. droghe d'abuso).

Un altro tipo di comportamento fortemente presente negli adolescenti è l'impulsività. È stata condotta una serie di esperimenti su roditori per poter valutare i livelli di comportamento impulsivo. Gli animali sono stati posti in apparati sperimentali (Figura 3) atti alla misurazione del comportamento operante (in quanto all'animale è richiesto di interagire/operare attivamente introducendo il muso in fori sulle pareti per ottenere un rinforzo, solitamente palline di cibo) in base a uno specifico stimolo. Quest'ultimo consiste nel proporre una scelta fra una ricompensa piccola e immediata oppure una ricompensa più consistente, ma che si rende disponibile solo dopo un certo tempo, e che aumenta nel corso delle sessioni successive. Alcuni giorni prima dell'inizio dell'esperimento, gli animali sono sottoposti a un regime alimentare ristretto rispetto alle condizioni standard.



Figura 3. Apparato sperimentale utilizzato presso dell'Istituto Superiore di Sanità per lo studio dell'impulsività nei roditori

Tale procedura, che non sfocia mai in denutrizione, ha lo scopo di aumentare la motivazione a ottenere come ricompensa delle palline di cibo. Ogni animale viene posto quotidianamente in un apparato controllato da un computer, provvisto di due fori su una parete. L'inserimento spontaneo del muso in uno di questi fori attiva delle fotocellule che a loro volta mettono in moto un dispositivo che fornisce le palline di

cibo, in una mangiatoia. Dopo una sessione di 25 minuti giornalieri, gli animali sono riportati nelle proprie gabbie. Durante la fase di addestramento (generalmente della durata di una settimana), l'animale impara che dopo aver inserito il muso in uno dei due fori (rispettivamente di destra o di sinistra), segue la caduta nella mangiatoia di cinque palline di cibo, oppure di una sola pallina. Dopo aver inserito il muso e subito prima della caduta del cibo, la luce posta in alto nell'apparato sperimentale si accende per un secondo. Durante la fase di test (anch'essa della durata media di una settimana) viene inserito un ritardo tra l'immissione del muso nel foro corrispondente e la consegna del rinforzo più consistente. La luce posta in alto nella camera rimane accesa per tutta la durata di tale intervallo di ritardo. La consegna, invece, del premio piccolo non viene modificata. Gli animali, quindi, possono scegliere tra una ricompensa "grande e ritardata" o una ricompensa "piccola e immediata". I roditori adolescenti sviluppano in tempi più brevi un comportamento impulsivo mostrando quindi una ridotta capacità di autocontrollo rispetto agli adulti. I soggetti giovani, infatti, preferiscono di gran lunga una ricompensa "piccola e immediata" dimostrando una maggiore propensione a ottenere un rinforzo più piccolo senza però dover aspettare.

Lo studio delle determinanti biologiche del comportamento, tramite il ricorso al modello animale, può fornire indicazioni importanti nella comprensione e descrizione di comportamenti tipici della fase adolescenziale.

Concludendo

Per concludere, dopo aver preso in considerazione le variabili comportamentali e cerebrali che caratterizzano l'adolescenza, possiamo affermare che le condotte tipiche degli adolescenti e i sostrati neurobiologici a esse sottostanti non siano devianti o anormali, ma che, per quanto dissimili da quelle che caratterizzano soggetti più giovani o soggetti adulti, siano funzionali allo sviluppo di un individuo autonomo e perfettamente normale.

Per saperne di più

Spear LP. The adolescent brain and age related behavioural manifestations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 2000;24:417-63.

Giedd JN, Lenrott RK. Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 2006;30:718-29.

Laviola, G, Macrì S, Morley-Fletcher S, Adriani W. Risk-taking behavior in adolescent mice: psychobiological determinants and early epigenetic influence. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 2003;27:19-31.