

Jay N. Giedd presiede il reparto di psichiatria infantile e dell'adolescenza all'Università della California a San Diego ed è professore presso la Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health. È direttore della rivista «Mind, Brain, and Education».



NEUROSCIENZE

Le meraviglie del cervello adolescente

Un disallineamento tra la maturazione delle reti neurali determina la propensione al rischio degli adolescenti, ma permette anche salti in avanti nella cognizione e nell'adattabilità

di Jay N. Giedd

IN BREVE

Gli studi di imaging hanno dimostrato che il cervello degli adolescenti non è un cervello infantile più vecchio, o un cervello adulto non ancora maturo: è una realtà a sé stante, caratterizzata da flessibilità e dall'aumento del numero di connessioni tra le regioni cerebrali.

Durante la pubertà, il sistema limbico alla guida delle emozioni si consolida, ma la corteccia prefrontale che controlla l'impulsività matura soltanto al raggiungimento dei vent'anni. Questo disallineamento fa sì che gli adolescenti siano propensi al rischio,

ma allo stesso tempo permette loro di adattarsi prontamente all'ambiente.

L'antico della pubertà tra i bambini di tutto il mondo sta allungando gli anni di questo disallineamento.

Una maggiore comprensione del

cervello degli adolescenti potrebbe aiutare i genitori e la società a distinguere i comportamenti caratteristici dell'età da quelli tipici della malattia mentale e, allo stesso tempo, aiuterebbe gli adolescenti a diventare le persone che vogliono essere.



Il «cervello dei teenager»

è spesso considerato una specie di ossimoro: un esempio di errore biologico.

I neuroscienziati hanno spiegato il comportamento a rischio, aggressivo, o semplicemente indecifrabile, degli adolescenti come il prodotto di un cervello in qualche modo compromesso. La ricerca degli ultimi dieci anni, tuttavia, ha dimostrato l'inadeguatezza di questo approccio. Il cervello dei teenager non è difettoso, e non è nemmeno un cervello adulto pronto a metà: l'evoluzione lo ha modellato perché funzionasse in maniera diversa da quello di un bambino o di un adulto.

Tra le caratteristiche principali del cervello dei giovanissimi c'è la capacità di trasformarsi in risposta all'ambiente, modificando le reti che connettono le regioni cerebrali. Questa particolare flessibilità, o plasticità, è una lama a doppio taglio: permette ai giovani di compiere grandi passi avanti nel pensiero e nella socializzazione, ma la mutevolezza del paesaggio li rende vulnerabili ai comportamenti pericolosi e ai disturbi mentali gravi.

Gli studi più recenti indicano che i comportamenti più rischiosi nascono dal disallineamento tra la maturazione delle reti del sistema limbico, che guida le emozioni e il cui sviluppo accelera durante la pubertà, e quella delle reti della corteccia prefrontale, che si realizza più tardi e promuove il razionamento e il controllo degli impulsi. Oggi sappiamo che la corteccia prefrontale continua a modificarsi fin oltre i vent'anni. Allo stesso tempo però, la pubertà sembra iniziare prima, estendendo gli «anni del disallineamento».

La plasticità delle reti che connettono le regioni cerebrali è l'elemento chiave che permette di imparare come comportarsi da adulti. Comprenderlo, e sapere che i giovani vivono in una terra di mezzo tra lo sviluppo delle reti emotive e quelle del giudizio, può essere d'aiuto ai genitori, agli insegnanti, agli psicologi e agli adolescenti stessi. Comportamenti come la propensione al rischio, la ricerca di sensazioni forti e il distacco dai genitori per rivolgersi ai compagni non sono segno di problemi cognitivi o emotivi, ma il naturale risultato dello sviluppo cerebrale, parte di ciò che serve ai giovani per imparare a muoversi in un mondo complesso.

Capire tutto questo può aiutare gli adulti a decidere quando intervenire. Una ragazza di 15 anni che si allontana dai gusti dei genitori in fatto di abiti, musica e politica può turbare mamma e papà, ma non indica una malattia mentale. La tendenza di un sedicenne a fare skateboard senza casco non è da sottovalutare, ma si tratta più di una manifestazione di pensiero a breve termine e di pressione tra coetanei che di desiderio autolesivo. Ma altri comportamenti esplorativi o aggressivi potrebbero essere segnali di allarme. Conoscere meglio l'unicità del cervello degli adolescenti aiuterà tutti noi a imparare a separare i comportamenti insoliti ma appropriati all'età da quelli che potrebbero indicare una malattia. La consapevolezza potrebbe aiutare a ridurre dipendenze da sostanze, malattie sessualmente trasmesse, incidenti stradali, gravidanze indesiderate, omicidi, depressione e suicidi tra gli adolescenti.

Sono pochi i genitori che si sorprenderebbero nel sentire che il cervello di un sedicenne è diverso da quello di un bambino di otto anni, ma non è semplice identificare queste differenze in maniera

scientifica. Avvolto in una membrana spessa e resistente, circondato da una trincea protettiva di liquido e completamente racchiuso nel cranio, il cervello è protetto dalle cadute e dagli attacchi dei predatori... E dalla curiosità degli scienziati.

L'invenzione di tecnologie di imaging come la tomografia computerizzata e la tomografia a emissione di positroni ha permesso alcuni passi avanti, ma dato che queste tecniche emettono radiazioni ionizzanti, usarle per studiare i ragazzi non era etico. L'avvento dell'imaging di risonanza magnetica (RM) ha offerto un metodo sicuro e accurato per studiare l'anatomia e la fisiologia cerebrale delle persone di ogni età. Le ricerche in corso stanno seguendo migliaia di persone per tutta la durata della loro vita. Il tema ricorrente che sta emergendo è che il cervello degli adolescenti non matura diventando più grande, ma facendo sì che i diversi componenti divengano più interconnessi e specializzati.

Osservando le scansioni RM, l'aumento della connettività tra le regioni cerebrali si manifesta come un maggior volume di sostanza bianca. Il «bianco» della sostanza bianca è dato dalla mielina, una materia adiposa che avvolge e isolata i lunghi cavi, o assoni, che si estendono dal corpo di un neurone. La mielinazione, ovvero la formazione di questo involucro adiposo, inizia durante l'infanzia e prosegue fino all'età adulta, aumentando in maniera significativa la velocità di conduzione degli impulsi nervosi tra i neuroni: gli assoni mielinati trasmettono segnali fino a 100 volte più veloci rispetto agli assoni privi di questo involucro.

La mielinazione accelera inoltre l'elaborazione delle informazioni aiutando gli assoni a tornare velocemente a uno stato di eccitabilità dopo l'invio di un segnale, così da essere pronti per l'invio del segnale successivo. Un tempo di recupero più veloce permette un aumento della frequenza, fino a 30 volte maggiore, con cui un neurone può trasmettere l'informazione. La combinazione di trasmissione più veloce e tempi di recupero più brevi determina l'aumento dell'ampiezza della banda computazionale del cervello, pari a 3000 volte tra l'infanzia e l'età adulta, permettendo una comunicazione estesa ed elaborata tra le regioni cerebrali.

Studi recenti stanno inoltre portando alla luce un altro ruolo della mielina, più complesso. I neuroni integrano le informazioni provenienti da altre cellule cerebrali, ma le ritrasmettono solo se il segnale in ingresso oltrepassa una determinata soglia. Se il neurone scarica, questa azione determina l'inizio di una serie di modificazioni molecolari che rinforzano le sinapsi, o connessioni, tra quel neurone e i neuroni in ingresso.

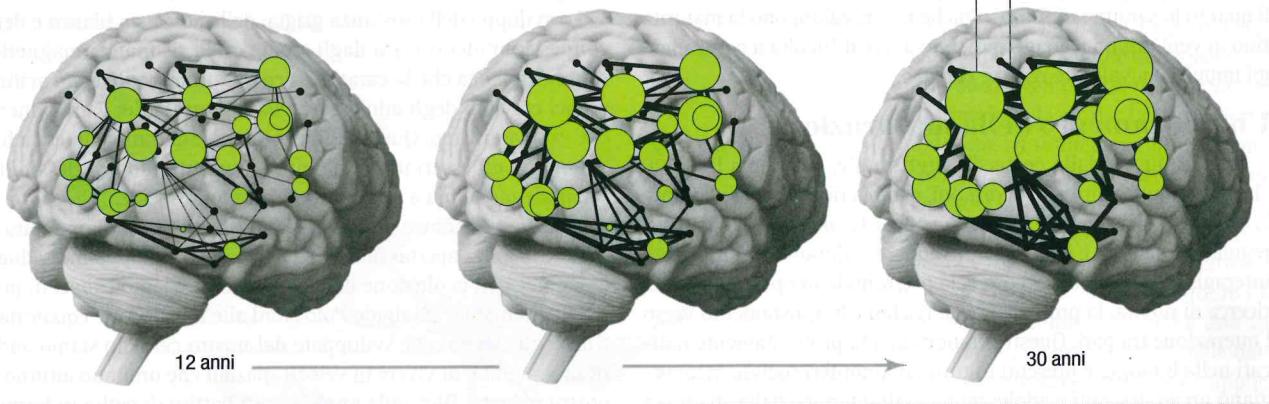
Questo consolidamento delle connessioni è alla base dell'apprendimento. Ora i ricercatori stanno comprendendo che, affinché i segnali in ingresso provenienti da neuroni vicini e lontani arrivino simultaneamente a un determinato neurone, la trasmissione deve essere perfettamente sincronizzata, e la mielina è strettamente coinvolta nella regolazione fine di questo coordinamento. Con il passaggio dall'infanzia all'adolescenza la rapida espansione della mielina aumenta la coordinazione e l'interconnessione dell'attività

Maggiori connessioni portano alla maturità

Il cambiamento più significativo che avviene nel cervello di un adolescente non è l'aumento di volume delle regioni cerebrali, ma la moltiplicazione delle vie di comunicazione tra i gruppi di neuroni. Applicando ai dati acquisiti tramite scansioni RM una tecnica analitica chiamata teoria dei grafi è possibile osservare come tra i dodici e i trent'anni le connessioni tra alcune regioni

cerebrali o gruppi neuronali si rafforzino (*linee nere che aumentano di spessore*). L'analisi mostra inoltre come le connessioni tra alcune regioni e gruppi cerebrali divengano più fitte (*cerchi verdi che aumentano di diametro*). Questi cambiamenti portano a una maggiore specializzazione del cervello, dal pensiero complesso al comportamento sociale multiforme.

Aumento nel tempo delle comunicazioni tra regioni cerebrali



tà nelle diverse parti del cervello rispetto a vari compiti cognitivi. Ora gli scienziati possono misurare questo cambiamento dell'interconnettività applicando la teoria dei grafi, un tipo di calcolo matematico che quantifica la relazione tra i «nodi» e gli «archi» di una rete. I nodi possono essere qualsiasi oggetto o entità identificabile, come un neurone o una struttura cerebrale quale l'ippocampo, o una regione più ampia come la corteccia prefrontale. Gli archi possono essere un qualsiasi collegamento tra nodi, da una connessione fisica come una sinapsi tra neuroni, fino a una correlazione statistica, come nel caso in cui due aree cerebrali si attivino in maniera simile durante un compito cognitivo.

La teoria dei grafi ci ha aiutati a studiare in che modo le diverse regioni cerebrali si sviluppano e la loro interrelazione finale, nonché a correlare queste caratteristiche con le trasformazioni del comportamento e della cognizione. Le alterazioni in atto a livello cerebrale non si limitano all'adolescenza: la maggior parte dei circuiti cerebrali si sviluppa in utero, e molti di essi continuano a modificarsi nel corso di tutta la vita, ben oltre ciò che avviene durante l'adolescenza. È stato scoperto, tuttavia, che durante questo particolare periodo si ha un significativo aumento della connettività anche a livello delle regioni cerebrali coinvolte nel giudizio e nella pianificazione ad ampio raggio, capacità che influiscono profondamente sul resto della vita di una persona.

Tempo per specializzarsi

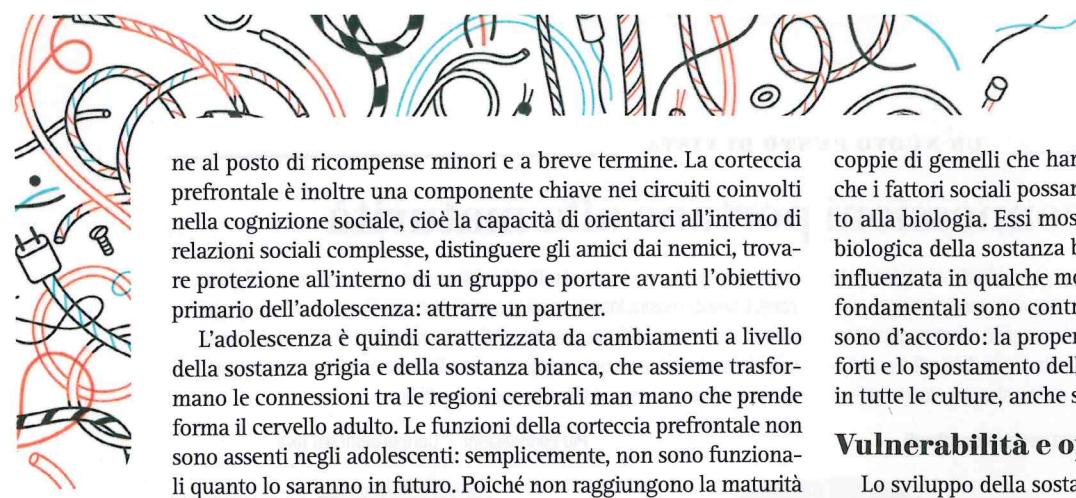
Mentre la sostanza bianca e i neuroni si sviluppano negli adolescenti con l'età, un altro cambiamento sta avvenendo. Lo sviluppo del cervello, come altri processi complessi in natura, avviene attraverso una fase di iperproduzione seguita da una fase di eliminazione selettiva. Come il David di Michelangelo emerse da un blocco di marmo, molti avanzamenti cognitivi emergono da un processo di eliminazione attraverso cui vengono rimosse le connessioni cellulari cerebrali non utilizzate o inadatte, mentre si rafforzano quelle utilizzate con maggiore frequenza. Sebbene questo processo

di eliminazione e consolidamento duri tutta la vita, durante l'adolescenza la bilancia pende verso l'eliminazione, via via che il cervello si adatta alle richieste del proprio ambiente.

La specializzazione si realizza man mano che le connessioni inutilizzate vengono eliminate, riducendo la sostanza grigia del cervello, composta principalmente da strutture non mielinizzate come i corpi cellulari dei neuroni, i dendriti (proiezioni poste a mo' di antenne sulle cellule, che ricevono informazioni dagli altri neuroni) e alcuni assoni. Il volume della sostanza grigia aumenta durante l'infanzia, raggiunge il picco massimo attorno ai dieci anni e diminuisce nel corso dell'adolescenza, per poi stabilizzarsi durante l'età adulta e in qualche modo declinare ulteriormente con la senescenza. Lo stesso pattern è seguito dalla densità dei recettori posti sui neuroni che rispondono ai neurotrasmettitori – come la dopamina, la serotonina e il glutammato – che modulano la comunicazione tra le cellule cerebrali.

Sebbene la quantità grezza di sostanza grigia raggiunga il culmine attorno alla pubertà, il pieno sviluppo delle diverse regioni cerebrali avviene in momenti diversi. È stato scoperto che la sostanza grigia raggiunge prima il picco nelle cosiddette aree sensoriomotorie dedicate alla percezione e alla risposta ai segnali visivi, uditivi, olfattivi, del gusto e tattili. Il culmine è invece raggiunto più tardi nella corteccia prefrontale, cruciale per il funzionamento esecutivo; un termine che comprende una vasta gamma di capacità tra cui l'organizzazione, i processi decisionali e la pianificazione, nonché la regolazione delle emozioni.

Un'importante caratteristica della corteccia prefrontale è la capacità di creare condizioni ipotetiche attraverso i viaggi temporali mentali, cioè di considerare risultati passati, presenti e futuri elaborando simulazioni mentali anziché assoggettarsi a pericoli reali: come disse il filosofo Karl Popper, invece di esporci al pericolo, «le nostre teorie muoiono al nostro posto». Via via che maturiamo cognitivamente, anche il nostro funzionamento cognitivo ci rende più propensi a scegliere ricompense più grandi e a lungo termi-



ne al posto di ricompense minori e a breve termine. La corteccia prefrontale è inoltre una componente chiave nei circuiti coinvolti nella cognizione sociale, cioè la capacità di orientarci all'interno di relazioni sociali complesse, distinguere gli amici dai nemici, trovare protezione all'interno di un gruppo e portare avanti l'obiettivo primario dell'adolescenza: attrarre un partner.

L'adolescenza è quindi caratterizzata da cambiamenti a livello della sostanza grigia e della sostanza bianca, che assieme trasformano le connessioni tra le regioni cerebrali man mano che prende forma il cervello adulto. Le funzioni della corteccia prefrontale non sono assenti negli adolescenti: semplicemente, non sono funzionali quanto lo saranno in futuro. Poiché non raggiungono la maturità fino ai vent'anni, i teenager possono avere difficoltà a controllare gli impulsi o a valutare rischi e benefici.

Uno sfasamento della maturazione

Diversamente dalla corteccia prefrontale, il sistema limbico, che agisce sulla spinta degli ormoni, cambia radicalmente durante la pubertà, che in genere inizia tra i 10 e i 12 anni. Questo sistema regola le emozioni e il senso di ricompensa; durante l'adolescenza interagisce inoltre con la corteccia prefrontale per promuovere la ricerca di novità, la propensione al rischio e lo spostamento verso l'interazione tra pari. Questi comportamenti, profondamente radicati nella biologia e presenti in tutti i mammiferi sociali, incoraggiano preadolescenti e adolescenti ad allontanarsi dalla sicurezza delle famiglie per esplorare ambienti nuovi e cercare relazioni all'esterno. Questi comportamenti diminuiscono la probabilità di accoppiamento con consanguinei, creando una popolazione geneticamente più sana, ma creano anche pericoli sostanziali, in particolare se associati a tentazioni moderne come il più semplice accesso a droghe, armi da fuoco e veicoli potenti, in assenza del controllo di un giudizio maturo.

Ciò che determina soprattutto un comportamento del teenager, quindi, non è tanto il tardivo sviluppo del funzionamento esecutivo o l'esordio precoce del comportamento emotivo, quanto la mancata correlazione tra il momento di maturazione dei due. Se gli adolescenti sono guidati emotivamente dal sistema limbico, mentre il controllo prefrontale non è efficace quanto sarà in futuro, per esempio attorno ai 25 anni, ciò determina un buco temporale di circa dieci anni dominato dallo squilibrio tra pensiero emotivo e contemplativo. Inoltre l'anticipo dell'inizio della pubertà, ora in atto in tutto il mondo, allunga il divario temporale tra l'esordio della propensione al rischio e della ricerca di emozioni forti e l'instaurarsi di una corteccia prefrontale forte e stabilizzante.

Questo sfasamento, che dura sempre di più, corrobora l'idea sempre più diffusa che gli anni dell'adolescenza non siano più sinonimo di adolescenza. L'adolescenza, che la società definisce come la transizione tra l'infanzia e l'età adulta, inizia biologicamente con l'esordio della pubertà, ma in termini sociali finisce nel momento in cui la persona raggiunge l'indipendenza e assume i ruoli caratteristici dell'età adulta. Oggi negli Stati Uniti lo status di adulto – spesso caratterizzato da eventi quali il matrimonio, la nascita di un figlio e l'acquisto di una casa – viene raggiunto approssimativamente cinque anni più tardi rispetto agli anni settanta.

La grande influenza dei fattori sociali nel determinare ciò che costituisce un adulto ha portato alcuni psicologi a suggerire che l'adolescenza sia meno una realtà biologica e piuttosto un prodotto dei cambiamenti nel bambino che sono andati impennandosi fin dalla rivoluzione industriale. Tuttavia gli studi sui gemelli, che esaminano gli effetti relativi dei geni e dell'ambiente seguendo

coppie di gemelli che hanno esperienze diverse, confutano l'idea che i fattori sociali possano imporsi in maniera sostanziale rispetto alla biologia. Essi mostrano che la velocità della maturazione biologica della sostanza bianca e della sostanza grigia può essere influenzata in qualche modo dall'ambiente, ma che le tempistiche fondamentali sono controllate dalla biologia. Anche i sociologi sono d'accordo: la propensione al rischio, la ricerca di sensazioni forti e lo spostamento dell'attenzione verso i coetanei si verificano in tutte le culture, anche se in gradi diversi.

Vulnerabilità e opportunità

Lo sviluppo della sostanza grigia, della sostanza bianca e delle connessioni identificato dagli studi con la risonanza magnetica sottolinea l'idea che la caratteristica più prominente dello sviluppo del cervello degli adolescenti sia la portata dei cambiamenti che vi si verificano. Questa abilità plastica diminuisce in età adulta, eppure gli esseri umani mantengono un grado di flessibilità cerebrale molto più a lungo di qualsiasi altra specie.

Una maturazione e una plasticità più durature ci permettono di «tenere la porta aperta» durante il corso dello sviluppo individuale così come dell'evoluzione dell'intera specie. Siamo capaci di prosperare ovunque, dal rigido Polo Nord alle torride isole equatoriali. Grazie alle tecnologie sviluppate dal nostro cervello siamo addirittura in grado di vivere in veicoli spaziali che orbitano attorno al nostro pianeta. Diecimila anni fa – un battito di ciglia in termini evolutivi – passavamo gran parte del nostro tempo alla ricerca di cibo e riparo. Oggi la maggior parte di noi trascorre le ore di veglia manipolando parole e simboli, cosa degna di particolare nota se consideriamo che la lettura risale a soli 5000 anni fa.

La prolungata plasticità è stata di grande beneficio per la nostra specie, ma accanto alle opportunità ha creato vulnerabilità. L'adolescenza è il momento in cui raggiunge il picco l'emergere delle diverse malattie mentali, tra cui i disturbi dell'ansia, il disturbo bipolare, la depressione, i disturbi dell'alimentazione, le psicosi e l'abuso di sostanze: un dato sorprendente è che il 50 per cento delle malattie mentali emerge prima dei 14 anni, e il 75 per cento ha inizio entro i 24.

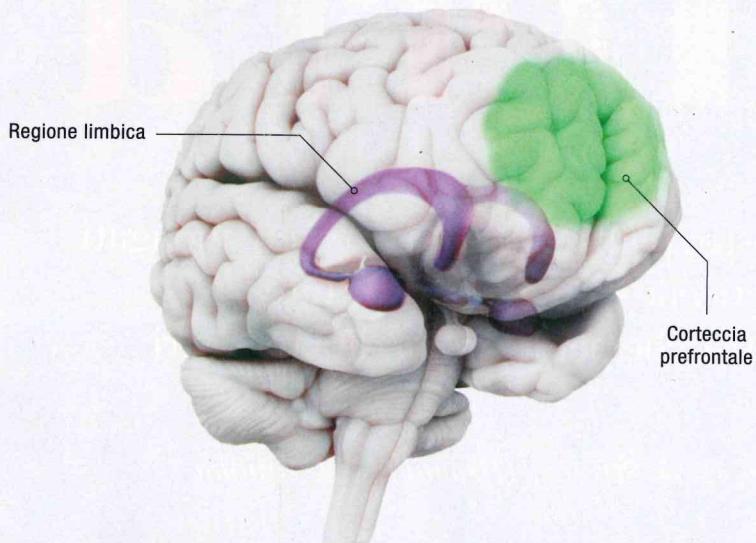
La relazione tra le alterazioni tipiche del cervello dell'adolescente e l'esordio della psicopatologia è complicata, ma un tema soggiacente potrebbe essere che «le parti in movimento si rompono». L'idea è che i grandi cambiamenti nella sostanza bianca, nella sostanza grigia e nelle connessioni aumentano la probabilità che emergano problemi. Per esempio, quasi tutti i reperti cerebrali anomali negli schizofrenici adulti somigliano a tipici cambiamenti dello sviluppo del cervello adolescente andati troppo oltre.

Sotto molti altri punti di vista, l'adolescenza è il periodo più sano della vita umana. Il sistema immunitario, la resistenza al cancro, la tolleranza al caldo e al freddo e altri tratti raggiungono il massimo splendore. Nonostante la resistenza fisica, tuttavia, le malattie gravi e la morte sono da duecento a trecento volte più frequenti negli adolescenti rispetto ai bambini. Gli incidenti autostradali, la causa principale di morte, rendono conto di almeno metà delle vittime tra gli adolescenti. L'omicidio e il suicidio sono, rispettivamente, la seconda e la terza causa. Anche le gravidanze indesiderate, le malattie sessualmente trasmissibili e i comportamenti penalmente illeciti sono prevalenti, portando con sé un pesante fardello di conseguenze per tutta la vita.

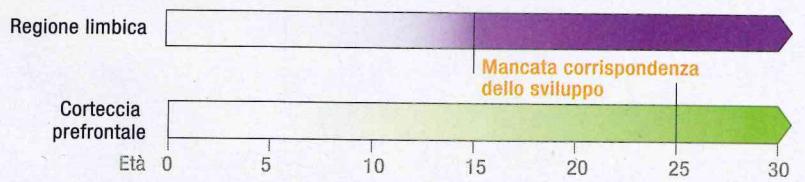
Che cosa possono fare a questo riguardo i medici, i genitori, gli insegnanti e gli stessi adolescenti? Per i clinici, la scarsità di nuovi farmaci psichiatrici e la propensione del cervello dei teenager a

Emozione versus controllo

Gli adolescenti hanno maggiori probabilità rispetto ai bambini o agli adulti di mettere in atto comportamenti rischiosi, anche a causa del divario nel completamento della maturazione tra due importanti regioni cerebrali. Lo sviluppo del sistema limbico (*in viola*), alimentato dagli ormoni e alla guida delle emozioni, si intensifica con l'inizio della pubertà (in genere, tra i nove e i dodici anni) e matura negli anni successivi. La corteccia prefrontale (*in verde*), che tiene a freno le azioni impulsive, raggiunge il pieno sviluppo solo dieci anni più tardi, creando uno squilibrio durante gli anni intermedi. La pubertà, inoltre, oggi tende a iniziare prima, incrementando gli ormoni quando la corteccia prefrontale è ancora meno matura.



Grado di maturazione



rispondere all'ambiente suggerisce che gli interventi non medicalizzati potrebbero essere i più efficaci, in particolare all'inizio dello sviluppo adolescenziale, quando la sostanza bianca, la sostanza grigia e le connessioni subiscono una rapida trasformazione. Il trattamento del disturbo ossessivo-compulsivo ne è un esempio: gli interventi comportamentali che innescano l'impulso ossessivo ma modificano gradualmente la risposta della persona possono essere molto efficaci e possono prevenire una vita di disabilità. Se capiamo che durante gli anni dell'adolescenza il cervello rimane plastico, verrà meno l'idea che la gioventù sia «una causa persa»: al contrario, ciò ci offre l'ottimismo necessario per credere che un intervento possa modificare il corso della vita di un giovane.

Ulteriori studi potranno contribuire a fare luce. Le ricerche sull'adolescenza non sono ben sviluppate, i fondi scarseggiano e sono pochi i neuroscienziati specializzati in questa fascia d'età. La buona notizia è che, man mano che si chiariscono i meccanismi e i fattori che influenzano lo sviluppo del cervello degli adolescenti, aumentano le risorse e gli scienziati interessati a questi studi.

Capire che il cervello degli adolescenti è unico e in rapido cambiamento può aiutare i genitori, la società e gli stessi ragazzi a

gestire meglio i rischi e a cogliere le opportunità dell'adolescenza. Sapere che le funzioni esecutive prefrontali sono ancora in costruzione, per esempio, potrebbe aiutare i genitori a non reagire esageratamente se la figlia si presenta con i capelli tinti di arancione, sapendo che c'è speranza per un maggior giudizio in futuro. La plasticità suggerisce inoltre che il dialogo tra genitori e ragazzi su temi come libertà e responsabilità può influenzare lo sviluppo.

La capacità intrinseca degli adolescenti di adattarsi pone alcune domande sull'impatto di uno dei cambiamenti ambientali più grandi della storia: la rivoluzione digitale, che ha influenzato profondamente il modo in cui gli adolescenti imparano, giocano e interagiscono. L'informazione è disponibile in quantità voluminose, ma la qualità varia in maniera significativa. L'abilità del futuro non sarà ricordare i fatti ma valutare in maniera critica una vasta mole di dati, distinguere il segnale dal rumore, sintetizzare i contenuti e applicare la sintesi alla soluzione di un problema nel mondo reale. Gli educatori dovrebbero mettere alla prova il cervello degli adolescenti con questi compiti, allenarne la plasticità a ciò che richiede l'era digitale.

La società potrebbe prestare maggiore attenzione allo sviluppo delle passioni, della creatività e delle abilità che caratterizzano l'unicità del periodo di sviluppo adolescenziale. La società dovrebbe inoltre rendersi conto che l'adolescenza è un punto di svolta, che può portare a una vita di cittadinanza pacifica o di aggressività o, in casi rari, di estremismo. In tutte le culture gli adolescenti sono i soggetti più vulnerabili al reclutamento di milizie e terroristi,

ma sono anche quelli che possono essere più influenzati a seguire una carriera come insegnanti o ingegneri. Una maggiore comprensione del cervello degli adolescenti potrebbe aiutare giudici e giurie a raggiungere un verdetto nei processi penali.

Per gli adolescenti, queste nuove prospettive sulle neuroscienze dell'adolescenza potrebbero essere un incoraggiamento a mettere alla prova il proprio cervello rispetto al tipo di abilità nelle quali vorranno eccellere nella vita. Hanno tra le mani la meravigliosa opportunità di poter plasmare la loro identità e ottimizzare il loro cervello secondo le proprie scelte, per un futuro ricco di informazioni radicalmente diverso dalle vite odierne dei loro genitori. ■

PER APPROFONDIRE

The Primal Teen: What the New Discoveries about the Teenage Brain Tell Us about Our Kids. Strauch B., Doubleday, 2003.

Development of Brain Structural Connectivity between Ages 12 and 30: A 4-Tesla Diffusion Imaging Study in 439 Adolescents and Adults. Dennis E. L. e altri, in «NeuroImage», Vol. 64, pp. 671-684, 1 gennaio 2013.

Il cervello adolescente. Steinberg L., collana *La biblioteca delle scienze*, «Le Scienze», settembre 2015.