



ASPETTI NEUROFISIOLOGICI EVOLUTIVI DELL'INTENZIONALITÀ

Evolutionary neurophysiological aspects of intentionality

ADRIANA GUARESCHI-CAZZULLO*
GIUSEPPE A. CHIARENZA*

SUMMARY - *The Authors describe the neurophysiological patterns of a self-initiated, self-regulated and aimed behaviour taking place when the subject interacts with his environment. In 110 normal right-handed boys, aged from 6 to 14, the evolutionary aspects of some cerebral potentials related to intentional processes of getting ready to perform a task of motory capability were studied. The evolution of such potentials, related to cerebral maturation is analyzed in relation to the development of processes of learning and memorizing the task, which produce relevant changes in the cerebral potentials in some brain areas.*

Uno degli aspetti più affascinanti delle scienze umane è lo studio dell'origine, dell'organizzazione e dello sviluppo dei processi intenzionali. Luria, osservando il comportamento di giovani adulti con lesioni dei lobi frontali, è stato tra i primi a evidenziare il contributo della corteccia frontale nell'elaborazione e nel controllo di operazioni mentali e di comportamenti volti alla realizzazione di uno scopo (Luria, 1967). Questa funzione regolatrice della corteccia frontale era già nota attraverso ricerche neurofisiologiche condotte nell'animale. Dopo ablazione della corteccia frontale, esibivano un comportamento afinalistico e non intenzionale. La limitazione di que-

sti studi era intrinseca al fatto che all'animale non poteva essere attribuita quella capacità intenzionale propria della specie umana; infatti le ricerche in questo campo erano condotte usando paradigmi del tipo stimolo-risposta o «delayed alternation task» (Fuster, 1984). Da questi studi è emerso che esiste una base neuronale per le intenzioni e per il raggiungimento di uno scopo.

Solo nel 1965, grazie anche allo sviluppo tecnologico, Kornhuber e Deecke furono in grado di registrare dallo scalpo intatto dell'uomo un'attività elettrica specifica che precede la manifestazione comportamentale. Questa attività bioelettrica è stata denominata *Bereit-*

* Istituto di Neuropsichiatria Infantile dell'Università degli Studi di Milano.

schaftspotential o *readiness potential* (Vaughan et al., 1968). Esso è un potenziale lento, negativo, della durata di circa 800-1500 ms. Il BP è simmetrico nei due emisferi, almeno durante il primo secondo; durante i 500 ms precedenti l'inizio dell'attività elettromiografica, è più ampio sull'emisfero controlaterale al movimento durante compiti unimanuali, sia in soggetti destrimani che mancini. Ha un'ampiezza di circa 5-7 microvolt durante compiti semplici e un'ampiezza di circa il doppio durante compiti complessi; esso è indipendente dall'attività elettromiografica e dalla forza impiegata sia nei bambini che negli adulti (Papakostopoulos, 1978; Chiarenza et al., 1983). Il BP si registra sulle regioni frontali, centrali, precentrali e parietali. Esso non cambia la sua ampiezza quando il soggetto riceve un feedback visivo che lo informa del risultato del suo movimento (Papakostopoulos et al., 1986). La sua ampiezza diminuisce con l'età; questo fenomeno inizia dopo la quarta decade di vita tanto che verso i sessant'anni tende a diventare positivo. Queste osservazioni sono state fatte utilizzando compiti unimanuali semplici (Deecke, 1978), mentre impiegando compiti bimanuali complessi non sono state osservate differenze tra anziani e giovani adulti. La fase più precoce del BP è bilateralmente simmetrica e sembra originare dalla zona mesiale dell'area motoria supplementare (Boschert et al., 1983; Boschert e Deecke, 1986), mentre la porzione più tardiva è più ampia sulle regioni centrali controlaterali all'arto che si muove e riflette l'attività della corteccia motoria associata alla preparazione per il movimento. L'ampiezza del BP varia in relazione ai parametri fisici del movimento (velocità, forza e durata) così come ai fattori psicologici della motivazione e dell'intenzione

(Hlink et al., 1982, 1983). Libet et al. (1983) hanno indagato la relazione temporale tra il BP e l'intenzione cosciente a rispondere, cioè l'istante in cui il soggetto sperimenta la sensazione di «voler agire». Essi hanno constatato che, in media, il BP precede di parecchie centinaia di millesecundi questo momento tanto da far ritenere che movimenti spontanei liberamente volontari delle mani possono essere iniziati «inconsciamente». Ne deriva l'ipotesi che sia necessario un essenziale periodo di appropriata attività cerebrale perché si possano realizzare tutte le specifiche esperienze coscienti. Cioè le attività cerebrali che non persistono per un tempo sufficiente rimangono a livelli inconsci. Il BP è ridotto in tutte quelle situazioni dove esiste un disturbo del movimento come per esempio nel Morbo di Parkinson (Deecke et al., 1977; Papakostopoulos e Banerji, 1980) oppure un disturbo del comportamento intenzionale come nel paziente schizofrenico sia iniziale che cronico (Chiarenza et al., 1989). In età evolutiva, il BP è ridotto nei bambini con disturbi specifici di apprendimento, come ad es. la dislessia (Chiarenza et al., 1986; Chiarenza, 1990a) e nei soggetti con ritardo mentale sia a genesi non determinata che specifica come la Sindrome di Down (Chiarenza et al., 1985).

Dall'insieme dei dati inerenti il BP nei soggetti adulti e bambini nella normalità e nella patologia, esso è considerato un indicatore dell'efficienza cerebrale riguardante l'organizzazione e selezione delle strategie necessarie per eseguire un'azione programmata mediante un processo precoce di facilitazione talamocorticale. Le conoscenze neurofisiologiche attinenti il movimento si sono evolute insieme alle acquisizioni sull'organizzazione anatomo-fisiologica della corteccia senso-motoria secondo un model-

lo di funzionamento di tipo modulare di cui l'unità fondamentale è la colonna corticale (Mountcastle, 1978). In questa ottica il sistema motorio non è visto come una struttura gerarchicamente organizzata ma piuttosto come un sistema circolare funzionale, dove la corteccia motoria costituisce uno dei sistemi che si aggrega con altri per eseguire un compito costante ed invariante con meccanismi varianti. Questo funzionamento può essere realizzato soltanto prevedendo la possibilità del cervello di variare continuamente le procedure di attivazione modulare della corteccia a seconda del compito da eseguire.

Eccles presume che «durante l'arco di tempo in cui compare il BP si sviluppi una certa specificità di alcuni insiemi neuronali che attraverso le cellule piramidali potrebbero attivare una determinata area corticale motoria. Il BP potrebbe essere considerato come la conseguenza neuronale del comando volontario. Una delle caratteristiche sorprendenti del BP è il suo diffuso e graduale evolversi. Apparentemente, nello stadio di volere un movimento, l'influenza del comando volontario è diffusamente distribuita negli operatori neuronali... Nel tentativo di interpretare ulteriormente gli eventi corticali che generano il BP, è necessario sviluppare ulteriori ipotesi che riguardano le proprietà speciali dei moduli corticali... Si potrebbe ipotizzare l'esistenza di certi moduli corticali aperti in rapporto con l'attività cosciente della mente che lavorando in modo raffinato e diffuso produce quella variazione lenta e progressiva che è il BP. Queste variazioni prodotte nei moduli aperti si trasmetterebbero rapidamente attraverso le cellule piramidali a dei moduli chiusi dell'emisfero ipsi e controlaterale. Quindi, il BP sarebbe l'espressione dei cambiamenti

che avvengono in questi moduli e l'effetto della loro interazione in relazione all'intenzionalità (Popper e Eccles, 1977).

In questa ottica, lo studio delle caratteristiche maturative del BP in bambini normali contribuisce alla comprensione dei processi fisiologici della preparazione e rende possibile dei confronti con i modelli psicologici dello sviluppo dell'intenzionalità in rapporto all'età.

MATERIALE E METODO

Il compito motorio consiste nel dare inizio alla corsa di una traccia luminosa su di un oscilloscopio premendo un pulsante con il pollice della mano sinistra e nell'arrestarla premendo un pulsante con il pollice della mano destra entro 40-60 msec dal suo inizio. Questo calcolo di un tempo così breve costringe il soggetto a programmare in anticipo il compito da eseguire. La realizzazione di questo compito richiede una buona coordinazione bimanuale e l'esecuzione di movimenti ballistici. Inoltre poiché il soggetto può vedere immediatamente sull'oscilloscopio il risultato della sua azione (feedback visivo), egli può verificare il risultato delle sue prestazioni ed aggiornare così le sue strategie. L'intervallo di tempo tra la pressione dei due pulsanti è definito «performance time». La distanza dal bersaglio viene definita «performance shift» e rappresenta un indice di accuratezza della performance motoria. Il numero di performance che centrano il bersaglio è definito «target performance».

Elettrodi al cloruro d'argento sono fissati sullo scalpo con collodio sulle regioni prefrontali (Fpz) frontali (Fz) centrali (Cz) precentrali destra (RPC) precentrali sinistra (LPC) parietale (Pz) e parietale destra (P4) e sinistra (P3). Ciascun

elettrodo e riferito alle mastoidei bilateralmente. L'elettromiogramma di superficie è registrato dal gruppo dei muscoli flessori degli avambracci destro e sinistro. L'impedenza degli elettrodi è inferiore a 3 KOhm. La costante di tempo ed il filtro passa basso sono per l'EEG 8 sec e 700 Hz e per l'EMG 0.03 sec e 700 Hz rispettivamente. Per ulteriori dettagli sul metodo e sull'analisi dei risultati vedi Chiarenza et al. 1983. Il compito motorio descritto è stato eseguito da un gruppo di 110 soggetti, maschi, normali, destrimani, di età fra 6 e 14 anni.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Tutti i bambini impegnati in questa ricerca furono in grado di eseguire correttamente il compito motorio a loro assegnato. Il BP non è presente in modo consistente nei bambini di 6 anni. Esso appare come una rampa negativa verso i sette-otto anni di età sulle regioni frontali, centrali e precentrali. La sua ampiezza è massima sulle regioni centrali e degrada lentamente sulle regioni precentrali e frontali (Fig. 1). La sua durata è di circa 200-400 msec. Esso è assente sulle regioni parietali. Dopo i 10 anni di età il BP aumenta di ampiezza sulle regioni frontali, centrali e precentrali e compare anche sulle regioni parietali. La sua durata è di circa 800-1200 msec. I ragazzi di 13-14 anni hanno un BP che è simile per morfologia, durata ed ampiezza a quello degli adulti (Fig. 2). Esso è bilaterale, simmetrico e uniformemente distribuito sulle regioni anteriori centrali e posteriori. Dall'osservazione delle caratteristiche evolutive del BP è possibile ipotizzare che il BP sia il risultato di due componenti: la prima ha una durata breve, circa 200 msec; compare appena prima l'inizio dell'attività

elettromiografica; si registra prevalentemente sulle regioni centrali e precentrali; è registrabile nei bambini di età superiore ai sei anni. La seconda componente compare verso i 10 anni di età; ha una durata maggiore della prima, circa 800-1200 msec e si sovrappone per un certo periodo di tempo alla prima, tanto che nei soggetti giovani adulti sembra un unico fenomeno. Questa componente aumenta di ampiezza con l'età e si registra sulle aree frontali, centrali, precentrali e parietali (Chiarenza, 1990).

Da un punto di vista neurofisiologico, si potrebbe ipotizzare che la componente di breve durata del BP potrebbe rappresentare l'attività di quei moduli corticali chiusi deputati alla realizzazione degli aspetti più automatici del movimento. Ciò spiegherebbe perché il BP si trovi solo sulle aree centrali e precentrali. La componente invece di lunga durata potrebbe essere l'espressione dell'attività di quei moduli aperti collegati con i processi intenzionali. Questo spiegherebbe il motivo per cui questo potenziale si registra solo verso i 10 anni di età e si ritrova su tutte le aree cerebrali. Questa ipotesi potrebbe trovare conferma dagli studi sulla maturazione della corteccia cerebrale che indica proprio l'età dei 10 anni il momento in cui le vie associative cortico-corticali cominciano a mielinizzare ed in particolare le aree associative frontali e parietali stabiliscono le loro definitive relazioni funzionali. Il movimento, come abbiamo visto, non è solo un atto motorio eseguito dalle aree motorie, ma programmazione ed organizzazione prassica dello stesso; solo quando le varie aree cerebrali hanno raggiunto la loro maturazione ed integrazione funzionale è possibile osservare un BP presente sulle aree frontali e parietali. In questo senso, non è da trascurare il ruolo dei sistemi sottocorti-

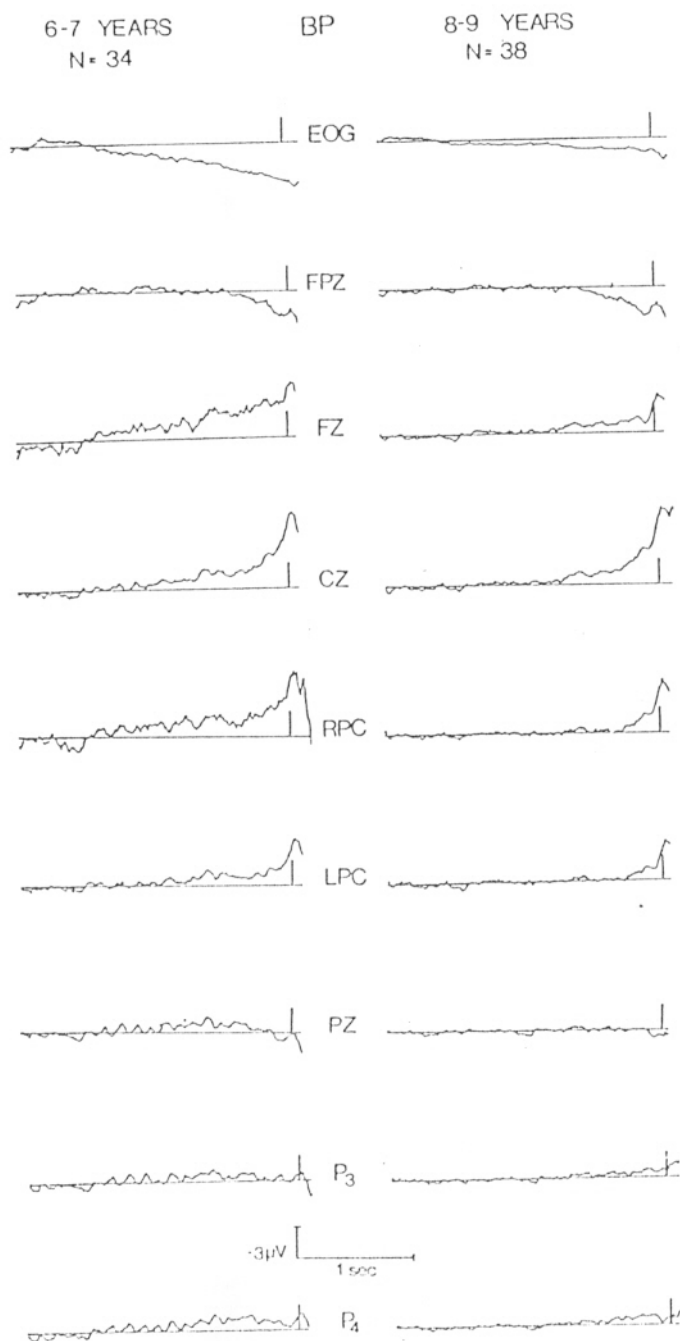


Figura 1

Grand-average del Bereitschaftspotential. La barra verticale in ogni tracciato di questa figura e della figura 2 indica l'istante in cui il soggetto, premendo il pulsante della mano sinistra, fa partire la traccia luminosa sull'oscilloscopio.

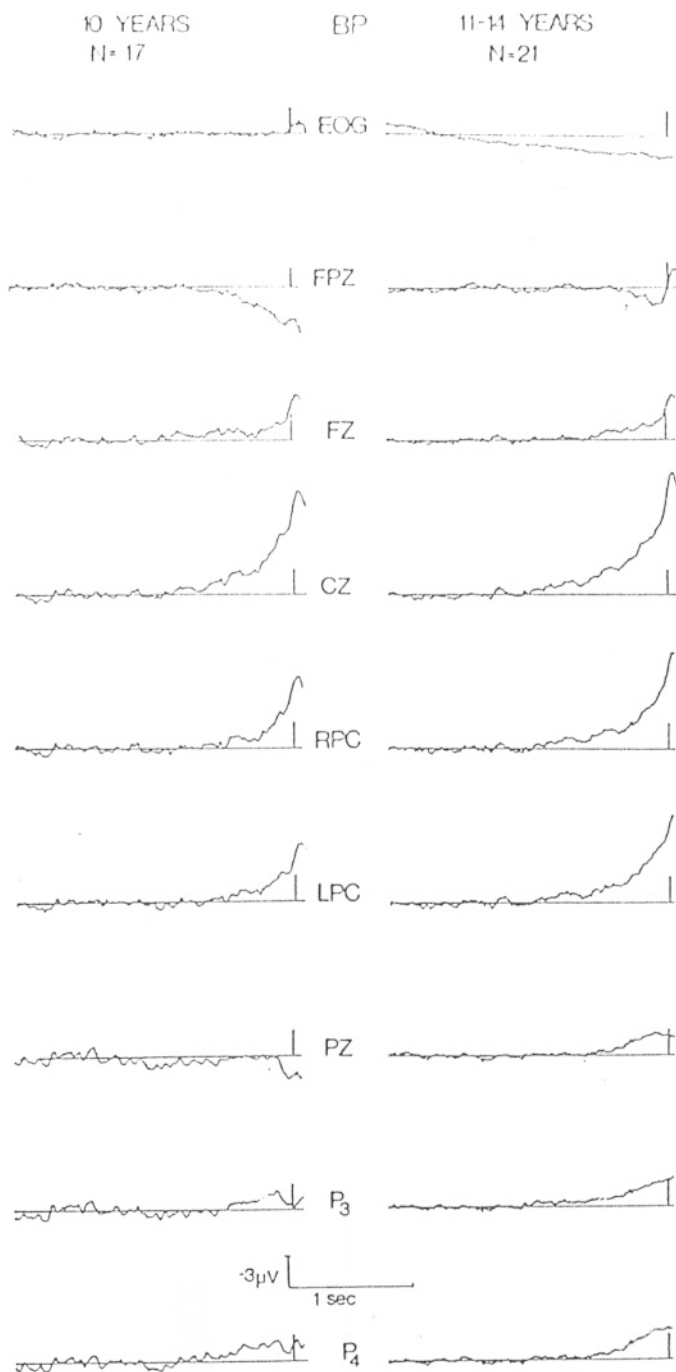


Figura 2

Grand-average del Bereitschaftspotential.

cali nella realizzazione del movimento; anch'essi raggiungendo una migliore integrazione con i sistemi corticali contribuiscono al perfezionamento di quelle reti neuronali che si assemblano per formare sottosistemi autonomi ed integrati.

Queste ipotesi trovano ulteriore conferma dallo studio delle modifiche del BP in rapporto all'apprendimento e memorizzazione di un compito motorio. In particolare, ci riferiamo agli studi della memoria procedurale in età evolutiva condotti dal nostro gruppo di ricerca.

La memoria procedurale permette di ritenere i legami tra stimolo e risposta incluse sequenze complesse di attività motorie e percettive. La memoria procedurale si manifesta solo attraverso il comportamento e consolida le tracce lentamente. Sulla base di queste caratteristiche abbiamo voluto osservare dopo quanto tempo erano registrabili sullo scalpo gli effetti del mantenimento nella memoria procedurale delle tracce ideomotorie di un compito percettivo motorio di notevole difficoltà (Chiarenza, 1990b; Villa et al., 1989). La procedura sperimentale era divisa in 2 fasi separate da un intervallo di 4 settimane. Ciascuna fase comprendeva 3 registrazioni (set) di 100 performance eseguite ad intervalli diversi. L'esercizio motorio sia distribuito nel tempo che intensivo è una condizione importante per l'apprendimento di complessi atti motori. Esso è infatti necessario per rinfrescare quei particolari elementi ideocinetici appresi solo parzialmente; per coordinarli in modo che vengano eseguiti correttamente in sequenza e con i giusti tempi; per evitare di dimenticarli; per portare il compito a livello di apprendimento automatico. L'andamento delle performance durante i 6 set mostrava che i nostri soggetti raggiungevano e mantenevano un livello di accuratezza

stabile dopo circa 300 prove. Il raggiungimento di questo livello di performance dopo il terzo set si accompagnava a delle modifiche anche a carico dell'ampiezza e della durata del BP. Gli effetti della memorizzazione di questo compito sono evidenti sul BP solo dopo un mese dall'inizio dell'esercizio. Il BP sulle aree frontali, centrali e precentrali presentava una riduzione della sua durata ed ampiezza.

Questi dati confermano che l'immagazzinamento degli elementi motori nella memoria procedurale non avviene immediatamente ma necessita di un periodo di graduale consolidamento dopo la fase iniziale di apprendimento. Ciò avverrebbe grazie alla presenza di circuiti riverberanti che determinerebbero una maggiore efficienza di determinate sinapsi ed anche delle modificazioni strutturali permanenti nelle sinapsi dei circuiti cerebrali (Deutsch, 1983). Inoltre, recentemente è stato dimostrato che l'immagazzinamento specifico delle tracce mnestiche avviene vicino a quelle stesse aree corticali che intervengono nella elaborazione del materiale da memorizzare (Mishkin e Appenzeller, 1987). Ciò spiegherebbe il motivo per cui le modifiche dell'ampiezza e della durata del BP si riscontrino principalmente a livello di quelle aree cerebrali, frontali e precentrali più direttamente interessate nella produzione e ritenzione dell'«engramma motorio» (Bernstein, 1967). Questi risultati sembrano indicare che sia necessario un certo periodo di tempo perché l'engramma motorio venga memorizzato; dopo questo periodo i processi di organizzazione strategica diventano più rapidi ed efficienti.

La motricità al servizio dell'esperienza percettiva si trasforma nel corso dello sviluppo da un lato in un processo di raffinamento delle prassie come fa-

centi parte dei contenuti sintattici dell'apprendimento e dall'altro in un processo di automazione delle prassie che si sottraggono così al controllo cosciente (Guareschi-Cazzullo, 1986).

Le modificazioni del BP nel corso dello sviluppo documentano non solo il progressivo arricchirsi e perfezionarsi della funzione motoria ma anche l'evoluzione del contenuto proposizionale e cognitivo del movimento. Esse descrivono il graduale organizzarsi di rappresentazioni distribuite, di diversa provenienza, in un sistema funzionale complesso cui si può supporre partecipino numerosi sottosistemi da quelli corrispondenti al riconoscimento percettivo del proprio assetto posturale a quelli corrispondenti alla consapevolezza dell'azione che il soggetto sta svolgendo (Guareschi-Cazzullo e Musetti, 1990). Il graduale emergere del BP a partire dai 6-7 anni delinea il progressivo costituirsi di connessioni specifiche fra gruppi neuronali sempre più numerosi e più ampiamente distribuiti in senso spaziale e temporale, selezionate in base all'esperienza momento per momento nell'ambito di tante aree di possibili rappresentazioni. Sembra appunto da riferirsi al numero dei subsistemi in gioco ed alla loro vasta distribuzione sempre più coinvolgente le strutture frontali e prefrontali che solo ad una certa età del bambino sia possibile registrare il corrispettivo bioelettrico dell'intenzionalità sebbene già emerga ad un livello primitivo di funzionamento cognitivo molto più precocemente, come componente del «Sé agente» e negli «intensi scambi sociali» tra i due ed i sei mesi (Stern, 1987).

La base neurale per le intenzioni è quindi documentabile anche nel bambino a partire da una certa età: le intenzioni possono riguardare sia gli atti motori sia i processi di pensiero. Di conse-

guenza una intenzione può essere vista come una categoria particolare di un oggetto mentale con le seguenti caratteristiche: presenza solo con un alto livello di organizzazione e durata non facilmente esauribile con funzioni predittive. Gruppo di neuroni auto-eccitanti oppure la presenza di circuiti riverberanti potrebbero offrire quella carica per il mantenimento delle intenzioni. Successivamente o in parallelo l'intervento di processi attentivi potrebbero contribuire alla fissazione di queste attività o stati auto-sostenuti determinati dalla presenza esterna di percetti o interna suscitati dalla rievocazione di tracce mnestiche (Changeux e Dehaene, 1989).

L'ingresso di questi processi attentivi che Posner definisce «attenzione per l'azione» (Posner e Presti, 1987) potrebbe essere segnalato dalle modificazioni del BP durante le fasi di maturazione del SNC. Questa attenzione si realizza ad un certo stadio dello sviluppo, quando i bambini raggiungono un adeguato controllo inibitorio sugli eventi sensoriali immediati e mantengono nel tempo strategie coerenti destinate a raggiungere uno scopo. La scelta di significati, di azioni e di interazioni tra pre-rappresentazioni endogenamente evocate e quelle contesto-dipendenti potrebbe aver luogo, ad un differente livello e su una diversa scala temporale, attraverso un meccanismo di selezione darwiniano (Edelman, 1987). L'evoluzione di questi processi selettivi si realizza attraverso un test di realtà non solo cognitivo ma anche emotivo le cui basi neurali si ritrovano nelle connessioni esistenti tra sistema limbico e corteccia prefrontale (Goldman-Rakic, 1987).

Lo studio dello sviluppo di questo assetto neurofisiologico, espressione di processi anticipatori e preparatori permette di cogliere, in parallelo al gradua-

le perfezionarsi delle abilità motorie, l'integrazione tra la consapevolezza intenzionale degli aspetti esecutivi del movimento e quella più diretta, non deri-

vata dall'esperienza sensoriale, cognitivo-emotiva che ne è presupposto e conseguenza.

RIASSUNTO

Gli Autori descrivono i pattern neurofisiologici di un comportamento autoiniziato, autoregolato e finalizzato che ha luogo quando un soggetto interagisce con il suo ambiente. In 110 ragazzi, normali destrimani, tra 6 e 14 anni di età sono state studiate le caratteristiche evolutive di alcuni potenziali cerebrali correlati ai processi intenzionali di preparazione per realizzare un compito di abilità motoria.

L'evoluzione di questi potenziali legata alla maturazione cerebrale è analizzata in correlazione allo sviluppo dei processi di apprendimento e memorizzazione di questo compito che producono, in determinate aree cerebrali, consistenti modificazioni dei potenziali cerebrali.

BIBLIOGRAFIA

- BERNSTEIN N. (1967), *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
- BOSCHERT J., DEECKE L. (1986), Cerebral potentials preceding voluntary toe, knee and hip movements and their vectors in human precentral gyrus. *Brain Research*, 376: 175-179.
- BOSCHERT J., HINK R.F., DEECKE L. (1983), Finger movement versus toe movement — related potentials: further evidence for supplementary motor area (SMA) participation prior to voluntary action. *Experimental Brain Research*, 52: 73-80.
- CHANGEUX J.P., DEHAENE S. (1989), Neuronal models of cognitive functions. *Cognition*, 33: 63-109.
- CHIARENZA G.A. (1990), Motor-perceptual function in children with developmental reading disorders: neuropsychophysiological analysis. *Journal of Learning Disabilities*, 6: 375-385.
- CHIARENZA G.A. (1990), La memoria umana: potenziali cerebrali cognitivi. In: C.L. Cazzullo, A. Guareschi Cazzullo, G.A. Chiarenza (Eds), *Le molte facce della memoria. Approccio interdisciplinare*. Padova: Liviana Editrice.
- CHIARENZA G.A., PAPAPOSTOPOULOS D., GIORDANA F., GUARESCHI-CAZZULLO A. (1983), Movement Related Brain macropotentials during skilled performances. A developmental study. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, 56: 373-383.
- CHIARENZA G.A., PAPAPOSTOPOULOS D., GRIONI A., TENGATTINI M.B., GANGUZZA D., MASCELLANI P., GUARESCHI-CAZZULLO A., CAZZULLO C.L. (1985), Neurophysiological evaluation of motor-perceptual function in Down's syndrome subjects by Movement Related Brain Macropotentials. In: C. Morocutti, P.A. Rizzo (Eds), *Evoked Potentials. Neurophysiological and Clinical Aspects*. Amsterdam: Elsevier.
- CHIARENZA G.A., PAPAPOSTOPOULOS D., GRIONI A.G., TENGATTINI M.B., MASCELLANI P., GUARESCHI CAZZULLO A. (1986), Movement-Related Brain Macropotentials during a Motor Perceptual Task in Dyslexic-Dysgraphic Children. In: W.C. McCallum, R. Zappoli, F. Denoth (Eds), *Cerebral Psychophysiology: Studies in Event-Related Potentials (EEG Suppl. 38)*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- CHIARENZA G.A., GUARESCHI-CAZZULLO A., CAZZULLO C.L. (1989), The Bereitschaftspotential in early schizophrenics. In: C.N. Stefanis, C.R. Soldatos, A.D. Rehavilas (Eds), *Psychiatry today. Accomplishments and promises*. Amsterdam: Elsevier Science BMW 1989.
- DEECKE L. (1978), Functional significance of cerebral potentials preceding voluntary movement. In: D.A. Otto, *Multidisciplinary Perspectives in Event-Related Brain Potential Research*. Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- DEECKE L., ENCLITZ H.G., KORNHUBER H.H., SCHMITT