

MEMORIA UMANA: I POTENZIALI CEREBRALI COGNITIVI

G.A. Chiarenza

Il punto di vista della neuropsicofisiologia

Che cosa ricorderò domani della lezione studiata? E tra un mese? Perché ricordo anche dopo tanto tempo un nome, un viso, una strada, e ne dimentico altri? Perché un principiante sciatore dopo un periodo di inattività incontra sempre qualche difficoltà nel ritrovare la giusta coordinazione e perché anche gli uomini che praticano lo sport a livello professionale hanno bisogno di lunghi e costanti allenamenti? È solo un problema di esercizio fisico oppure esistono anche problemi legati alla *memoria dell'esercizio*?

A questi quesiti cerca di dare risposta una giovane disciplina della medicina, la *neuropsicofisiologia*. Essa studia il comportamento dell'uomo e i suoi processi cognitivi mediante l'analisi dell'attività elettrica cerebrale, cioè registra il comportamento umano e le variazioni, ad esso correlate, prodotte sull'elettroencefalogramma (EEG).

Molte delle ricerche in questo campo sono indirizzate verso l'identificazione di specifiche modificazioni dell'attività elettrica cerebrale che segnalano i vari stadi dell'operazione di elaborazione dell'informazione, quali codificazione, decodificazione, selezione, memorizzazione, decisione ecc. impiegando disegni sperimentali propri della

psicologia cognitiva. Un altro filone di ricerche si occupa dell'individuazione delle strutture cerebrali che generano queste variazioni usando un approccio di tipo fisiologico. Questa convergenza e integrazione di paradigmi sperimentali e di cornici teoriche fisiologiche e psicologiche ha gettato un ponte tra la psicologia cognitiva e la neurofisiologia, permettendo di studiare processi cognitivi umani con metodi non invasivi.

Uno stimolo uditivo, visivo o tattile, nel suo percorso dall'ambiente esterno alla corteccia cerebrale dell'uomo provoca l'attivazione di vari nuclei preposti all'analisi dei contenuti dello stimolo. Le modificazioni che si registrano dallo "scalpo" in seguito a questo passaggio sono indicate come potenziali evocati cerebrali, suddivisi in sensoriali e cognitivi. I primi si manifestano entro 80 msec dopo la somministrazione di uno stimolo e rappresentano i processi di decodificazione e codificazione delle caratteristiche fisiche dello stimolo, intensità, durata, frequenza, e per questo chiamati anche *esogeni*. I secondi compaiono dopo 100 msec e si registrano in concomitanza con specifici processi percettivi e cognitivi, richiedenti al soggetto una determinata decisione manifesta o segreta e per questo chiamati anche *endogeni*¹.

La figura 5.1 mostra alcuni dei potenziali cognitivi, registrati durante un compito durante il quale un flash di luce (W) avverte il soggetto di aspettare uno stimolo-segnale (S), un click, che comparirà un secondo dopo.

Durante questo compito si registra tutta una serie di potenziali sia sensoriali che cognitivi che sulla traccia superiore, l'elettroencefalogramma, sono appena visibili nell'intervallo tra i due stimoli e meglio evidenziati nella traccia sottostante, quando si esegue una media di più prove. I primi potenziali, detti N100 e P200, sono la risposta cerebrale al flash quando si comporta come stimolo "ammonitore" e si modificano con lo stato di attenzione del soggetto (Hillyard e Kutas, 1983). L'attesa dello stimolo-segnale è caratterizzata da una deflessione negativa, *Contingent Negative Va-*

¹ Il metodo comunemente impiegato per identificare i potenziali evocati cerebrali consiste nell'etichettare questi picchi con una lettera P o N. La lettera indica la polarità positiva (P) o negativa (N), seguita da un numero o da una lettera che ne indica la posizione ordinale o la latenza ovvero il tempo che un dato potenziale impiega a comparire sullo scalpo dopo la somministrazione dello stimolo.

psicologia cognitiva. Un altro filone di ricerche si occupa dell'individuazione delle strutture cerebrali che generano queste variazioni usando un approccio di tipo fisiologico. Questa convergenza e interazione di paradigmi sperimentali e di cornici teoriche fisiologiche e psicologiche ha gettato un ponte tra la psicologia cognitiva e la neurofisiologia, permettendo di studiare processi cognitivi umani con metodi non invasivi.

Uno stimolo uditivo, visivo o tattile, nel suo percorso dall'ambiente esterno alla corteccia cerebrale dell'uomo provoca l'attivazione di vari nuclei preposti all'analisi dei contenuti dello stimolo. Le modificazioni che si registrano dallo "scalpo" in seguito a questo passaggio sono indicate come potenziali evocati cerebrali, suddivisi in sensoriali e cognitivi. I primi si manifestano entro 80 msec dopo la somministrazione di uno stimolo e rappresentano i processi di decodificazione e codificazione delle caratteristiche fisiche dello stimolo, intensità, durata, frequenza, e per questo chiamati anche *esogeni*. I secondi compaiono dopo 100 msec e si registrano in concomitanza con specifici processi percettivi e cognitivi, richiedenti al soggetto una determinata decisione manifesta o segreta e per questo chiamati anche *endogeni*¹.

La figura 5.1 mostra alcuni dei potenziali cognitivi, registrati durante un compito durante il quale un flash di luce (W) avverte il soggetto di aspettare uno stimolo-segnale (S), un click, che comparirà un secondo dopo.

Durante questo compito si registra tutta una serie di potenziali sia sensoriali che cognitivi che sulla traccia superiore, l'elettroencefalogramma, sono appena visibili nell'intervallo tra i due stimoli e meglio evidenziati nella traccia sottostante, quando si esegue una media di più prove. I primi potenziali, detti N100 e P200, sono la risposta cerebrale al flash quando si comporta come stimolo "ammonitore" e si modificano con lo stato di attenzione del soggetto (Hillyard e Kutas, 1983). L'attesa dello stimolo-segnale è caratterizzata da una deflessione negativa, *Contingent Negative Va*

¹ Il metodo comunemente impiegato per identificare i potenziali evocati cerebrali consiste nell'etichettare questi picchi con una lettera P o N. La lettera indica la polarità positiva (P) o negativa (N), seguita da un numero o da una lettera che ne indica la posizione ordinale o la latenza ovvero il tempo che un dato potenziale impiega a comparire sullo scalpo dopo la somministrazione dello stimolo.

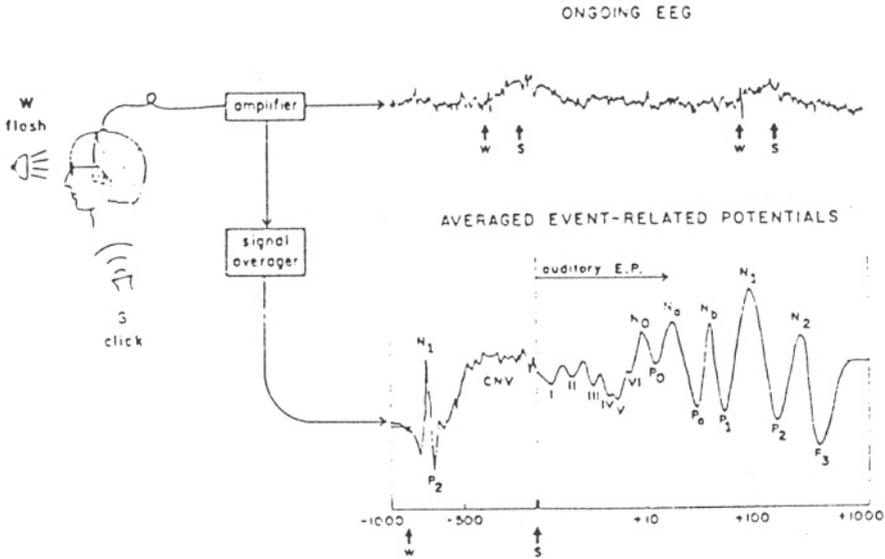


Figura 5.1. Rappresentazione schematica dei potenziali cognitivi cerebrali registrati quando un soggetto aspetta un click preceduto da un flash. La traccia superiore rappresenta l'EEG e quella inferiore i potenziali cognitivi dopo un processo di media. In ascissa la scala dei tempi è in millisecondi, lineare prima del click (S) e logaritmica dopo (da Hillyard e Kutas, 1983).

riation, CNV. Successivamente, lo stimolo-segnale evoca, nei primi 80 msec, tutta una serie di potenziali evocati sensoriali, che rappresentano l'attivazione delle strutture uditive del tronco cerebrale e della corteccia uditiva primaria, e tra 100 e 500 msec, un complesso di potenziali, N1-P2, N2-P3, che rappresentano l'attivazione delle aree secondarie e terziarie uditive, potenziali cognitivi.

Il P300 e la memoria a breve e lungo termine

Tra i potenziali cognitivi, P300 è uno dei fenomeni cerebrali più studiati negli ultimi venti anni, dopo che Sutton nel 1965 descrisse per primo questo fenomeno dimostrando che l'ampiezza e la latenza di P300 possono essere usate rispettivamente come indice della *natura* di una risposta cognitiva e del *tempo* impiegato dal soggetto per

elaborarla. La prospettiva di avere un indice elettrofisiologico delle operazioni cognitive ha portato molti ricercatori ad individuare tutti quei determinanti psicologici che influenzano la latenza ed ampiezza di P300. Quando un soggetto deve discriminare uno stimolo rilevante, detto "target", diverso per le sue caratteristiche fisiche da una serie di stimoli simili, irrilevanti, la comparsa di P300 è strettamente legata al riconoscimento dello stimolo target. La comparsa di P300 dipende così da quei processi percettivi e mnemonici che accompagnano il riconoscimento e la classificazione dello stimolo.

P300 non compare solo durante un compito che assegna ad una classe di stimoli neutri (click, flash) il significato di rilevanti, ma anche quando un soggetto deve distinguere figure di persone, quadri, luoghi a lui familiari da altri a lui sconosciuti, senza che debba necessariamente eseguire particolari istruzioni. Questo tipo di P300 dipende dalla memoria a lungo termine del soggetto per quelle figure familiari. Altri fenomeni positivi del tipo di P300 possono comparire durante compiti che valutano la memoria a breve termine del soggetto, quando uno stimolo-test deve essere confrontato con la traccia mnestica a breve termine lasciata da uno stimolo precedente. In un esperimento condotto da Chapman e collaboratori (1978), a dei soggetti erano presentate sequenze casuali di coppie di lettere dell'alfabeto e di numeri. Di volta in volta venivano dichiarate rilevanti le coppie di lettere o le coppie di numeri.

È stato osservato che era sempre il secondo membro della coppia rilevante che generava P300 più ampie, mentre il primo membro rilevante generava P250, che si correlavano perfettamente con i risultati comportamentali di un successivo test di memoria del compito appena eseguito. Questo fenomeno è stato interpretato come un segno del processo di immagazzinamento nella memoria a breve termine. Friedman et al. (1975) hanno dimostrato che il processo di memoria a breve termine si accompagna a numerose onde positive sullo scalpo, delle quali alcune sono correlate ai processi di accumulo nella memoria a breve termine, mentre altre ai processi di riconoscimento degli stimoli rilevanti. Sta diventando quindi sempre più evidente che numerose onde positive sono registrate nell'intervallo di tempo compreso tra 300-600 msec durante i processi di riconoscimento e di memoria e che i concetti correnti sui correlati psicologici di P300 devono essere ridefiniti.

In questi ultimi 20 anni, sebbene siano stati fatti enormi progressi nel caratterizzare i determinanti psicologici di P300, non si è ancora

arrivati ad una completa ed organica formulazione delle relazioni esistenti tra ampiezza e latenza di P300 e processi cognitivi. Uno sforzo in questo senso è stato fatto da Johnson (1986) che rivedendo criticamente la letteratura più significativa sull'argomento, oltre 150 lavori, ha cercato di distillare da tutti i vari disegni sperimentali un certo numero di categorie fondamentali o dimensioni di variabili sperimentali che influenzano P300.

Johnson propone un *modello triarchico* di P300, in cui vengono identificate tre dimensioni fondamentali.

La prima di queste dimensioni è la *probabilità soggettiva*, che è l'aspetto più conosciuto di questo modello. L'ampiezza della P300 è in diretto rapporto con la quantità di incertezza che viene risolta dalla comparsa dello stimolo. Le variabili sperimentali di questa dimensione che influenzano l'ampiezza della P300 sono la probabilità a priori e l'effetto che produce l'attesa di una sequenza di eventi. La prima di queste variabili ha una relazione inversa con l'ampiezza della P300: essa decresce con l'aumentare della probabilità a priori di comparsa dello stimolo. Questa relazione inversa è stata ottenuta con qualsiasi tipo di compito e di stimolo. L'attesa di una sequenza di eventi che il soggetto genera è in rapporto alla percezione dei legami di dipendenza che esistono tra gli stimoli di una serie, quando somministrati sequenzialmente. Conseguentemente, uno stimolo identico, rilevante, con il medesimo livello globale di probabilità di comparsa, produrrà P300 di ampiezza maggiore o minore in rapporto alla distanza maggiore o minore dall'ultimo stimolo rilevante somministrato.

La seconda dimensione che influenza l'ampiezza di P300 è legata alla *complessità dello stimolo*, del compito, e al loro valore. L'ampiezza di P300 aumenta nel passare da un compito che prevede solo il conteggio mentale degli stimoli rilevanti a uno che impone un atto motorio, la pressione di un pulsante, come reazione agli stimoli rilevanti. Se questa azione è seguita da un feed-back, che informa il soggetto sulla correttezza delle sue azioni, l'ampiezza di P300 aumenta ulteriormente. Queste due dimensioni sono tra loro indipendenti e l'ampiezza di P300 dipende quindi dalla somma di questi due fattori.

Queste due dimensioni invece dipendono, interamente, da una terza, rappresentata dalla *proporzione di informazione realmente per-*

cepita dal soggetto in rapporto alla quantità totale originaria posseduta dallo stimolo: essa dipende sia dalla natura dello stimolo che può essere ambiguo o difficile da discriminare sia dallo stato di vigilanza ed attenzione messi a disposizione dal soggetto. Quindi una parte di informazione si perde per strada e quello che si perde risulta in una minore ampiezza di P300. È chiaro che queste tre dimensioni non solo hanno un impatto su P300, ma anche sui processi di memoria.

Poiché ogni evento appartiene a determinate categorie, prima che da uno stimolo venga estratto il suo significato ed il suo contenuto probabilistico, esso deve essere categorizzato: questo processo dipende dalle capacità mnestiche individuali. Per studiare questa ipotesi sono stati impiegati paradigmi dove non erano manipolate le caratteristiche fisiche di uno stimolo ma veniva graduata la difficoltà di categorizzazione dello stimolo, variando il numero di voci che dovevano essere ricordate. Il metodo più impiegato è stato quello di Stemberg proposto per studiare la memoria a breve termine. In questo compito ai soggetti viene presentato un gruppo variabile di voci che essi devono memorizzare. Dopo un certo intervallo, viene presentato un test-stimolo che può appartenere o meno al gruppo precedentemente memorizzato. Il compito del soggetto è quello di decidere se lo stimolo è tra quelli del gruppo presentato. La difficoltà del compito è graduata variando il numero degli items da ricordare. È stato osservato che il tempo di decisione aumenta con il carico mnestico imposto al soggetto e che questo tempo si riflette sulla latenza di P300, cioè il momento della sua comparsa sullo scalpo.

La latenza però non è il solo parametro che cambia, lo è anche, e molto di più, l'ampiezza. Come detto prima l'ampiezza di P300 è inversamente proporzionale alla probabilità di comparsa di un evento. Questo effetto è però temperato dall'intervallo di tempo che esiste tra la comparsa di due eventi successivi.

Un intervallo interstimolo di 6 secondi, per esempio, non ha più effetto sull'ampiezza di P300 di uno stimolo target con una probabilità di comparsa del 20% e tutte le P300 degli stimoli target e non target hanno un'ampiezza simile. Questo effetto non è dovuto ad una diminuzione dell'ampiezza di P300 agli stimoli target, ma è dovuto ad un aumento dell'ampiezza di P300 agli eventi frequenti. P300 più ampie si ottengono con un intervallo

interstimolo di 1,3 secondi. Si può presumere che questo intervallo di tempo tra stimoli sia ottimale per influenzare le capacità di rappresentazione nella memoria. Dai dati attualmente disponibili è possibile ipotizzare che l'ampiezza di P300 rifletta processi che intervengono quando sia necessario revisionare i dati esistenti in memoria. Con un intervallo di presentazione degli stimoli molto breve, solo quelli rilevanti e rari che necessitano di essere revisionati possono essere presi in considerazione, poiché è verosimile che gli eventi frequenti compaiano quando quelli precedenti sono ancora presenti nella memoria in attività.

Attraverso lo studio delle modificazioni di questi potenziali cognitivi, si vogliono creare dei modelli psicologici di funzionamento del cervello durante il processo di elaborazione dell'informazione.

Fisiologia dei potenziali cerebrali cognitivi

L'approccio fisiologico, invece, si propone di conoscere il luogo, la natura, la funzione e le basi biochimiche di quei sistemi neurali preposti ai processi di memorizzazione.

Per questo motivo sono stati intrapresi degli studi sull'animale e sull'uomo per individuare le origini di questi potenziali. Marczynski (1978) ha potuto osservare nel gatto un fenomeno simile a P300. Dopo che il gatto ha premuto una leva, in concomitanza con la presentazione di un rinforzo positivo (latte), si registra sulla corteccia parieto-occipitale un potenziale positivo definito: *reward contingent positive variation* (RCPV) che scompare se cambia la qualità del rinforzo, per esempio acqua. La scopolamina blocca l'emergenza di questo potenziale che viene attivato dalla successiva somministrazione di fisiostigmina. Questa sostanza è anche capace di bloccare RCPV se l'animale è stato pretrattato con metilscopolamina, un agente farmacologico che non attraversa la barriera emato-encefalica e che blocca i recettori muscarinici periferici. RCPV ricompare se viene iniettata della scopolamina. Questo potenziale positivo epicorticale sembra essere l'espressione di un fenomeno inibitorio iperpolarizzante di un gran numero di neuroni corticali che diffondono questa attività ai dendriti apicali.

Questi circuiti neuronali inibitori sembrano essere di tipo gabaer-

gico, l'attività dei quali è modulata da sistemi facilitatori colinergici ed inibitori catecolaminergici.

Anche dalla corteccia cerebrale della scimmia è stato registrato un fenomeno positivo impiegando il medesimo paradigma per registrare P300 nell'uomo (Neville e Foote citati da Galambos e Hillyard 1981). Il confronto di questi potenziali ottenuti da esseri viventi di specie diversa potrebbe gettare qualche luce sulla spinosa questione riguardante se e fino a che punto *cervelli non umani* sono capaci di una attività mentale: percezioni, intenzioni, pensieri. Attingendo da evidenze comportamentali, come capacità di apprendimento, *problem solving*, comunicazioni specie-specifiche, adattamenti ecologici ed interazioni sociali, Griffin (1976) ha suggerito che attività mentali siano diffusamente presenti nel mondo animale. Hillyard e Bloom (1981) hanno intravisto la possibilità che l'impiego dei potenziali cognitivi potrebbe essere rilevante per questo problema dato che un certo numero di questi potenziali cognitivi registrati nell'uomo è stato associato a processi percettivi e cognitivi. Da qui ne scaturisce che, se un omologo potenziale cognitivo fosse registrato nell'animale, funzioni mentali simili sarebbero prodotte da quella specie. Comunque, prima che i dati forniti dai potenziali cognitivi possano essere utilizzati come base per inferenze sull'attività mentale degli animali, molto lavoro rimane da fare per specificare l'esatta natura dei processi cognitivi così come sono espressi dai potenziali cognitivi umani.

Nell'uomo, durante prolungate registrazioni elettrocorticografiche allo scopo di valutare la possibilità di un intervento terapeutico neurochirurgico per forme di epilessia farmaco-resistenti, è stato possibile osservare che questi potenziali cognitivi non sono solo dei fenomeni corticali, ma possono essere registrati anche da strutture profonde cerebrali quali il ponte ed il mesencefalo (McCallum et al., 1976). Altri ricercatori hanno osservato P300 nella regione dorso-talamica e ventro-talamica e nel giro anteriore e posteriore dell'ippocampo, una struttura implicata nei processi di memoria (Velasco et al., 1986). P300 sono state anche registrate dalle aree corticali frontali, centrali, temporali e parietali sia nell'emisfero destro che sinistro ed a varia distanza dalla superficie corticale con qualsiasi tipo di stimolazione sensoriale, uditiva, visiva e somatosensoriale. L'origine più precoce di P300 si trovava ad una distanza media tra la corteccia centro-parietale ed il polo temporale e la latenza di P300 aumentava sia procedendo verso strutture più profonde che verso lo scalpo (Wood et al., 1980). Queste osservazioni fanno supporre che nume-

rosi generatori corticali e sottocorticali generino il fenomeno P300, che esso non sia un fenomeno unitario, ma che esistano numerose P300 diverse per topografia e funzionamento e che al processo di memoria partecipino numerose strutture cerebrali come già illustrato nel capitolo precedente.

Memoria dichiarativa e procedurale

Uno dei punti caldi della psicologia cognitiva e neuropsicologia riguarda la classificazione delle varie forme di memoria, se questa debba essere considerata un fenomeno unitario o composto da due o più sistemi, se essi operano in parallelo (Cohen e Squire, 1980) oppure siano inseriti uno nell'altro e quindi dipendenti (Tulving, 1972). Sebbene esistano queste controversie, quasi tutti i ricercatori sono d'accordo nel suddividere la memoria in *procedurale* e *dichiarativa* e quest'ultima in *episodica* e *semantica*.

Ci siamo proposti di valutare questi due tipi di memoria attraverso le modificazioni dei potenziali cognitivi umani usando due diverse situazioni sperimentali.

La memoria procedurale

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 lentamente le tracce. 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 (Villa et al., 1989a, 1989b).

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 (feed-

back visivo), egli può verificare il risultato delle sue prestazioni ed aggiornare così le sue strategie.

Dall'osservazione concomitante dell'attività elettromiografica e dell'attività elettrica cerebrale si possono distinguere: un periodo *premotorio*, un periodo *senso-motorio*, un periodo di *completamento motorio* e un periodo *post-motorio* (fig. 5.2).

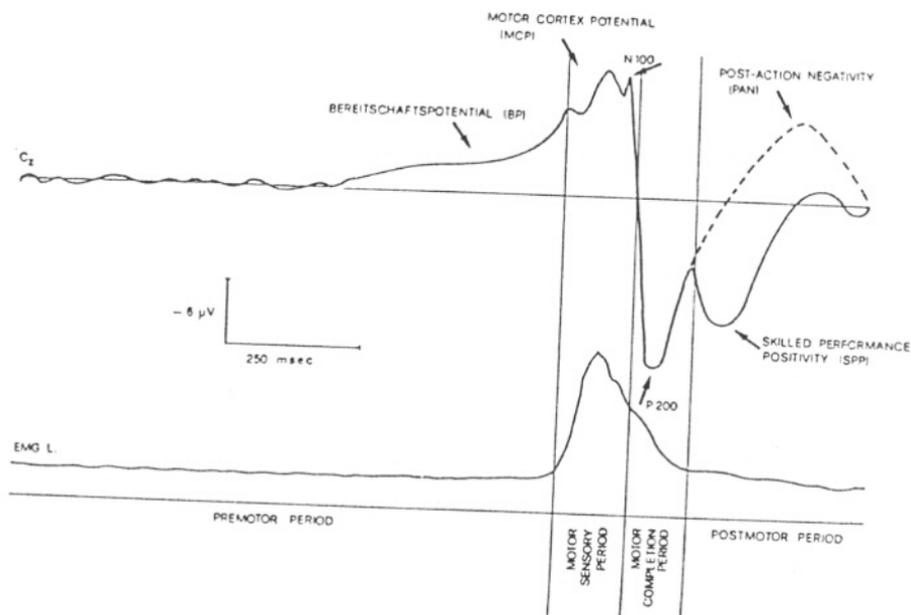


Figura 5.2. Rappresentazione schematica dei *movement-related brain macropotentials* durante l'esecuzione di un compito percettivo-motorio. Per ulteriori spiegazioni vedi il testo.

Il *periodo premotorio* è caratterizzato dalla presenza dell'attività tonica muscolare di base e dalla presenza sullo scalpo di un potenziale negativo fasico della durata di circa 800-1200 ms. Questo potenziale è denominato *Bereitschaftspotential* (BP) (Kornhuber e Deecke, 1965). Esso è assente durante movimenti passivi. Si presenta di modesta ampiezza ($5-7 \mu\text{V}$) durante compiti semplici e di ampiezza maggiore durante compiti complessi prevalentemente sulle regioni frontali e centrali (Papakostopoulos, 1978). È assente in bambini di

back visivo), egli può verificare il risultato delle sue prestazioni ed aggiornare così le sue strategie.

Dall'osservazione concomitante dell'attività elettromiografica e dell'attività elettrica cerebrale si possono distinguere: un periodo *premotorio*, un periodo *sensomotorio*, un periodo di *completamento motorio* e un periodo *post-motorio* (fig. 5.2).

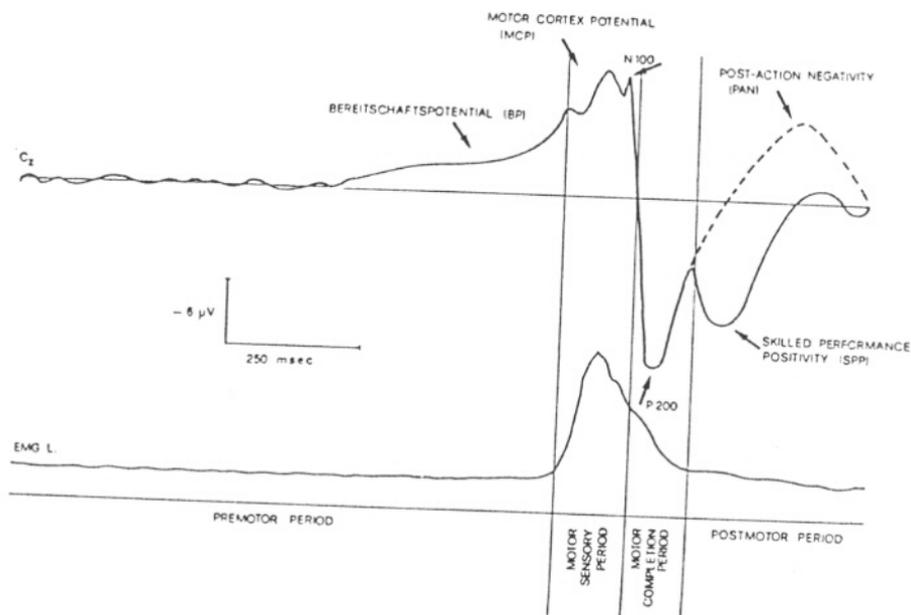


Figura 5.2. Rappresentazione schematica dei *movement-related brain macropotentials* durante l'esecuzione di un compito percettivo-motorio. Per ulteriori spiegazioni vedi il testo.

Il *periodo premotorio* è caratterizzato dalla presenza dell'attività tonica muscolare di base e dalla presenza sullo scalpo di un potenziale negativo fasico della durata di circa 800-1200 ms. Questo potenziale è denominato *Bereitschaftspotential* (BP) (Kornhuber e Deecke, 1965). Esso è assente durante movimenti passivi. Si presenta di modesta ampiezza ($5-7 \mu\text{V}$) durante compiti semplici e di ampiezza maggiore durante compiti complessi prevalentemente sulle regioni frontali e centrali (Papakostopoulos, 1978). È assente in bambini di

SPP è presente solo quando il soggetto può valutare il risultato delle sue prestazioni. Questo potenziale è indipendente dall'atto motorio e dalla presenza di una stimolazione esterocettiva. La *Post-Action Negativity* si registra prevalentemente sulle regioni fronto-centrali. Questo potenziale diminuisce di ampiezza con l'età e scompare verso i 10 anni. Esso rappresenta strategie di analisi e valutazione dei risultati differenti da quelli generanti SPP (Chiarenza et al., 1983, 1984).

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 (Epz), frontali (Fz), centrali (Cz), precentrali destra (RPC), precentrali sinistra (LPC), parietale (PZ), parietale destra (P4) e sinistra (P3). Ciascun elettrodo è riferito alle mastoidi bilateralmente. L'elettromiogramma di superficie è registrato dal gruppo dei muscoli flessori degli avambracci destro e sinistro. L'impedenza degli elettrodi è inferiore a 30 Kohm. La costante di tempo ed il filtro passa basso sono per l'EEG 4,5 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 era eseguito da un gruppo di 9 soggetti, di età fra 11 e 14 anni con alterazione della sfera percettivo-motoria evidenziata dai test di Bender e di Rey, di intelligenza normale e privi di disturbi della personalità. La procedura sperimentale era divisa in 2 fasi separate da un intervallo di 4 settimane. Ciascuna fase era costituita da 3 registrazioni (set). L'intervallo tra la prima registrazione e la seconda era di 1 h, quello tra la seconda e la terza di 2 settimane. Ogni registrazione consisteva di 100 performance, suddivise in 4 blocchi. L'analisi di varianza si è basata sulla regressione lineare multipla dove la fase, il set e i blocchi sono stati considerati variabili indipendenti mentre BP, SPP e le performance variabili dipendenti.

La pratica, sia distribuita che intensiva, è una condizione importante per l'apprendimento di complessi atti motori. Essa è infatti necessaria 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 e 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 una percentuale di target per-

formance del 40% dopo 300 trials. Il raggiungimento di questo livello di performance dopo il terzo set si accompagna a delle modifiche anche a carico del BP e della latenza ed ampiezza di SPP. Gli effetti della memorizzazione di questo compito sono evidenti sul BP ed SPP solo dopo un mese dall'inizio dell'esercizio. Il BP sulle aree frontali, centrali e precentrali presentava una riduzione di ampiezza e del tempo di comparsa (fig. 5.3) ed SPP aveva un'ampiezza maggiore sulla regione frontale e precentrale sinistra ed una latenza minore su tutte le aree (fig. 5.4).

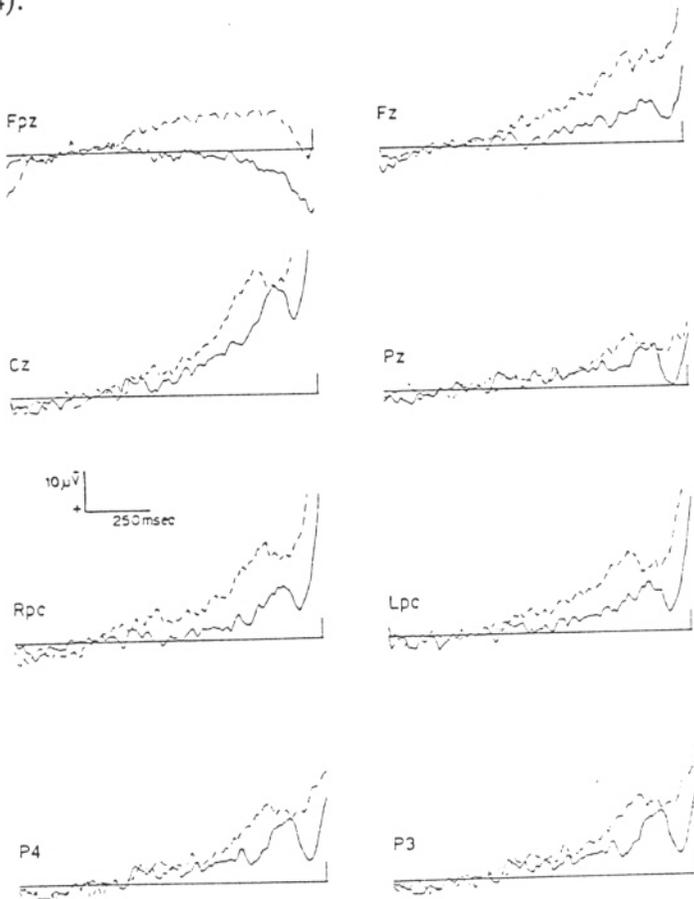


Figura 5.3. Media generale del BP di tutti i soggetti durante la fase 1 (linea tratteggiata) e la fase 2 (linea continua). Notare la riduzione di ampiezza e di inizio del BP sulle regioni prefrontale, centrale e precentrali durante la fase 2.

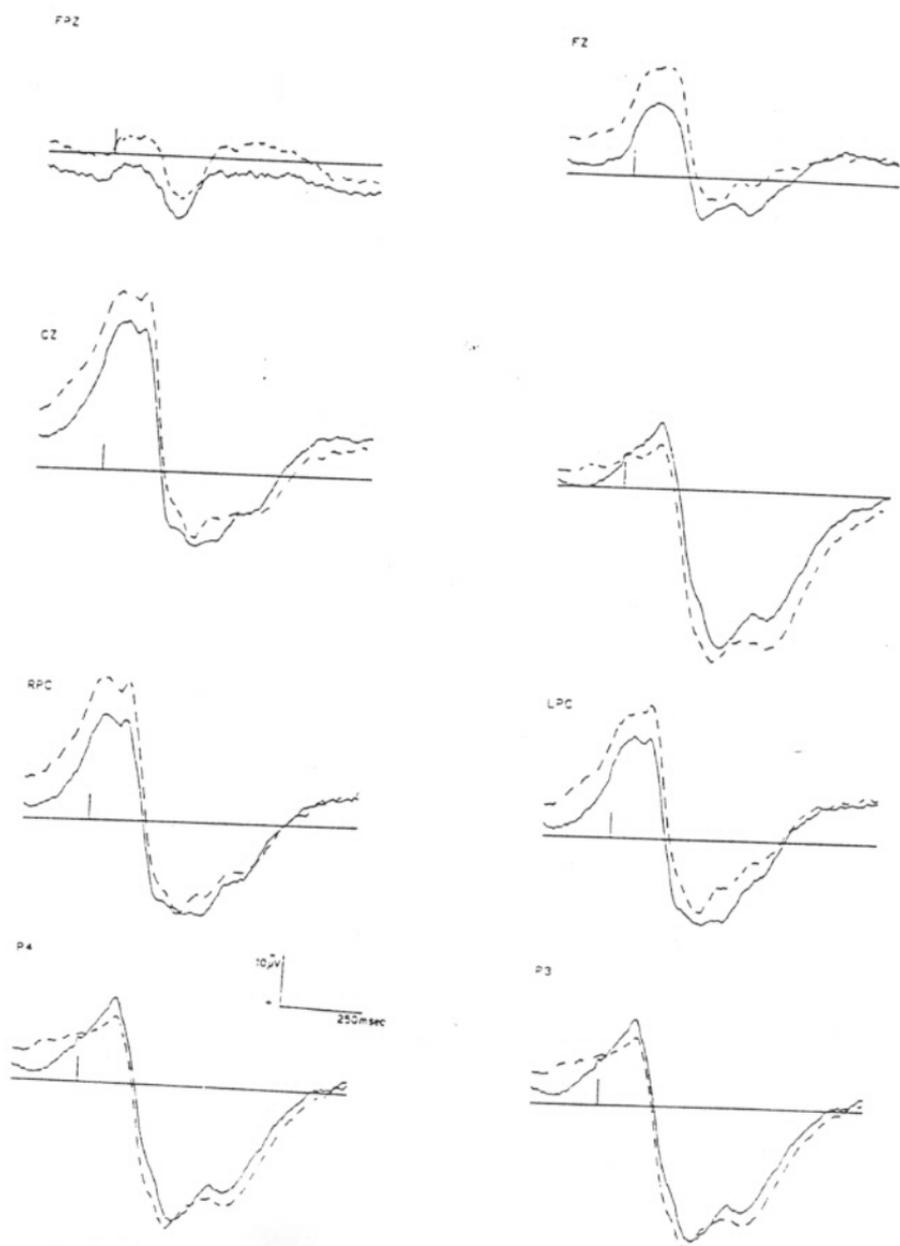


Figura 5.4. Media generale di SPP di tutti i soggetti durante la fase 1 (linea tratteggiata) e la fase 2 (linea continua). Notare l'aumento di ampiezza di SPP sulle regioni prefrontali, frontale e precentrale destra durante la fase 2.

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, come detto sopra, 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. 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 di BP ed SPP 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 e valutazione dei risultati diventano più rapidi ed efficienti.

La memoria dichiarativa

La *memoria dichiarativa*, a differenza di quella procedurale, riguarda oggetti, situazioni, nomi, persone; è più giovane filogeneticamente e può manifestarsi sia in forma verbale che attraverso immagini.

Per studiare questo aspetto della memoria, in collaborazione con l'Istituto di Psicologia dell'Illinois, abbiamo studiato l'effetto von Restorff sui potenziali cognitivi. Von Restorff afferma che un evento ha maggiore possibilità di venire memorizzato quando, in una serie di stimoli con le medesime caratteristiche, esso si distingue per delle caratteristiche fisiche diverse. È chiaro che le condizioni sperimentali imposte da questo paradigma sono adatte per registrare una P300 e valutarne quindi le sue relazioni con i processi connessi alla memoria dichiarativa (Fabiani et al., 1989).

Sono stati studiati 10 bambini normali di 10 anni. La figura 5.5 illustra il metodo impiegato. Sono state somministrate 30 liste di parole che contenevano ciascuna in una posizione compresa tra 4 e 7 una parola con caratteri più grossi detta "isolata" e 10 liste di controllo. L'intervallo tra le parole era di 250 msec. Dopo 7 sec dall'ultima parola di ogni lista, il soggetto do-

veva scrivere in 1 minuto le parole viste. Naturalmente, il bambino non era stato informato della presenza delle parole isolate. Alla fine del compito, al soggetto veniva mostrata una lista di parole nella quale doveva segnare le parole apparse come isolate, test dell'isolamento. Per maggiori dettagli sul metodo di registrazione ed analisi dei dati, vedi Fabiani et al., 1989.

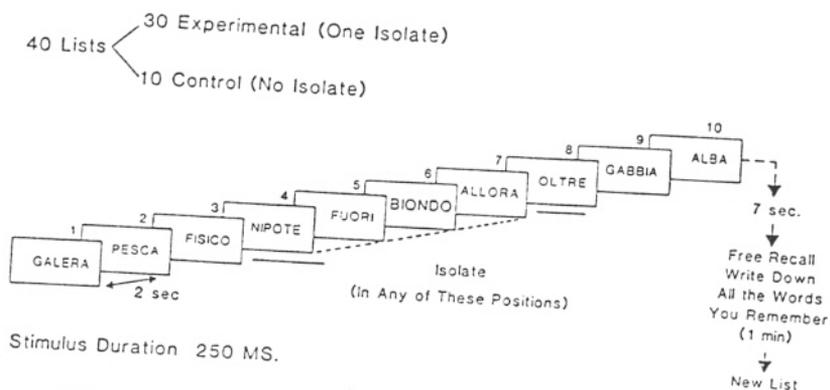


Figura 5.5. Disegno sperimentale dell'effetto von Restorff (Fabiani et al.).

I risultati relativi alla percentuale di parole isolate, ricordate chiaramente, indicano che i ragazzi ricordano meglio le parole isolate e, tra quelle non isolate, le prime e le ultime parole di ogni lista. Questi risultati sono evidenti anche su P300. Sulle regioni parietali le parole isolate elicitano una P300 di ampiezza molto maggiore rispetto a quella delle parole non isolate (fig. 5.6). Inoltre è interessante l'osservazione dei risultati del test di isolamento. P300 delle parole isolate che sono state successivamente ricordate ha un'ampiezza maggiore delle parole isolate non ricordate (fig. 5.7). Questi dati suggeriscono l'affascinante ipotesi che l'ampiezza di P300 possa riflettere la forza con la quale un engramma viene fissato nella memoria dichiarativa e predire se una parola verrà ricordata o no.

Oggi siamo sicuramente ben lontani dalle pionieristiche ricerche, condotte verso la fine dell'Ottocento, da un famoso fisiologo italiano, Mosso, sull'attività mentale dell'uomo. Egli aveva inventato il primo "strumento" per misurare il flusso cerebrale durante un'attività mentale: sdraiava una persona su di un lettino accuratamente bilanciato che poteva piegarsi da uno dei due estremi. Mosso affermava che quando il soggetto era impegnato in una attività menta-

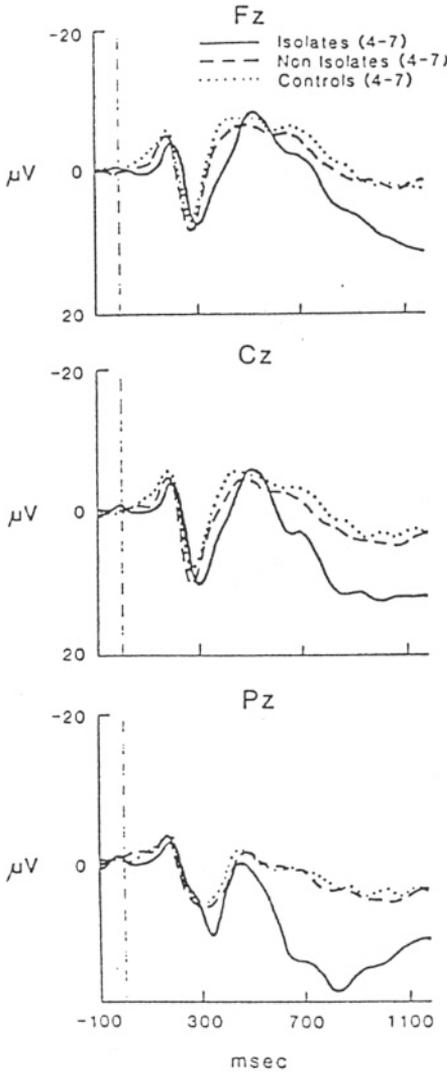


Figura 5.6. Media generale dei potenziali cognitivi dalle regioni frontale, centrale e parietale per le parole isolate (linea continua), non isolate dalle liste sperimentali (linea tratteggiata), non isolate dalle liste di controllo (linea punteggiata).

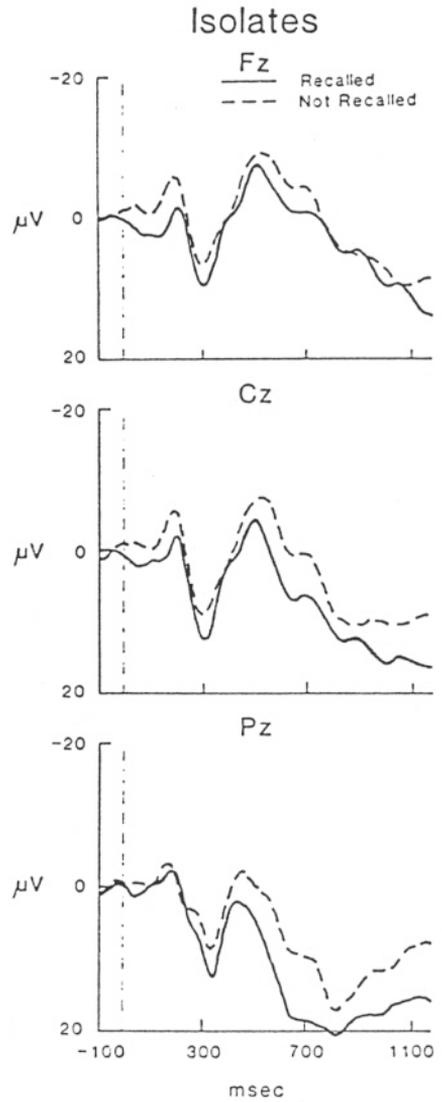


Figura 5.7. Media generale dei potenziali cognitivi dalle regioni frontale, centrale e parietale delle parole isolate che sono state successivamente ricordate (linea continua) e non (linea tratteggiata).

le, il lettino si piegava dalla parte della testa. La tecnologia e la scienza ci hanno permesso enormi progressi da allora, anche se la comprensione totale del puzzle della memoria ancora ci sfugge.

Bibliografia

- Bernstein N. (1967): *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford, Pergamon Press.
- Chapman R.W., McCrary J.W., Chapman J.A. (1978): *Short-term memory: the storage component of human brain response predicts recall*. Science 202: 1211-1214.
- Chiarenza G.A., Papakostopoulos D., Giordana F., Guareschi Cazzullo A. (1983): *Movement Related Brain Macropotentials during skilled performance. A developmental study*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 56: 373-383.
- Chiarenza G.A., Tengattini M.B., Grioni A.G., Ganguzza D., Vasile G., Massenti A., Albizzati A., Papakostopoulos D., Guareschi Cazzullo A. (1984): *Long latency negative potentials durante un compito percettivo motorio. Caratteristiche evolutive in bambini normali*. Rivista Italiana di EEG e Neurofisiologia clinica vol. 7: 407-409.
- Cohen N.J., Squire L.E. (1980): *Preserved learning and retention of pattern analyzing skill in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that*. Science 210: 207-209.
- Fabiani M., Gratton G., Chiarenza G.A., Donchin E. (1989): *A Psychophysiological Investigation of the von Restorff Paradigm in Children*. European Journal of Psychophysiology, in press.
- Friedman D., Hakerem G., Sutton S., Fleiss J.L. (1975): *The late positive component (P300) and information processing in sentences*. Electroencephalography and clinical neurophysiology 38: 255-262.
- Galambos R., Hillyard S.A. (1981): *Electrophysiological approaches to human cognitive processing*. Neurosciences Research Program Bulletin. MIT press, vol. 20, 2: 141-265.
- Griffin D.R. (1976): *The question of animal awareness. Evolutionary continuity of mental experience*. New York, Rockefeller University Press.
- Hillyard S.A., Bloom F.E. (1981): *Brain functions and mental processes*. In: Griffin D. (ed.): *Animal mind-human mind*. Berlino, Springer Verlag.
- Hillyard S.A., Kutas M. (1983): *Electrophysiology of cognitive processing*. Ann. Rev. Psychol. 34: 33-61.

- Johnson R.Jr. (1986): *A triarchic model of P300 amplitude*. Psychophysiology 23: 367-384.
- Kornhuber H.H., Deecke L. (1965): *Hirnpotentialänderungen bei Willkurbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente Potentiale*. Pflueg. Arch. Ges. Physiol. 284: 1-17.
- Marczynski T.J. (1978): *Neurochemical mechanisms in the genesis of slow potentials: a review and some clinical implications*. In: D.A. Otto (ed.): *Multidisciplinary Perspectives in Event-Related Brain Potential Research*. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., pp. 25-35.
- McCallum W.C., Papakostopoulous D., Griffith H.B. (1976): *Distribution of CNV and other slow potentials changes in human brain stem structures*. In: W.C. McCallum e J.R. Knott (eds): *The responsive brain*. Bristol, John Wright and Sons, pp. 205-210.
- Mishkin M., Appenzeller T. (1987): *The anatomy of memory*. Scientific American 256: 62-71.
- Papakostopoulos D. (1978): *Electrical activity of the brain associated with skilled performance*. In: D. A. Otto (ed.): *Multidisciplinary perspectives in event-related brain potential research*. U.S. Environmental Protection Agency, office of Research and Development, Washington, D.C., pp. 134-137.
- Papakostopoulos D. (1980): *A no stimulus no response event-related potential of the human cortex*. Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 48: 622-638.
- Papakostopoulos D., Cooper R., Crow H.H. (1975): *Inhibition of cortical evoked potentials and sensation by self-initiated movement in man*. Nature 258: 321-324.
- Sutton S., Braren M., Zubin J., John E.R. (1965): *Evoked potential correlates of stimulus uncertainty*. Science 150: 1187-1188.
- Tulving E. (1972): *Episodic and semantic memory*. In: Tulving E., Donaldson W. (eds.): *Organization of memory*. New York, Academic Press, pp. 381-403.
- Vaughan Jr. G.H., Costa L.D., Ritter W. (1968): *Topography of the human motor potential*. Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 25: 1-10.
- Velasco M., Velasco F., Velasco A.L., Almanza X., Olvera F. (1986): *Subcortical correlates of the P300 potential complex in man to auditory stimuli*. Electroenceph. Clin. Neurophysiol. 64: 199-210.
- Villa M., Barzi E., Beretta E., Chiarenza G.A. (1989a): *The effect of distributed practice on the skilled performance positivity (SPP)*. Atti Int.

Symposium Advanced evoked potentials and related techniques in clinical neurophysiology: basic principles and special applications. Rome, p. 108.

Villa M., Barzi E., Beretta E., Chiarenza G.A. (1989b): *The effect of distributed practice on the Bereitschaftspotential during skilled performance.* *Epic IX, International conference on event-related potentials of the brain*, Noordwijk, pp. 56-57.

Wood C.C., Allison T., Goff W.R., Williamson P.D., Spencer D.D. (1980): *On the neural origin of P300 in man.* In: H.H. Kornhuber e L. Deecke (eds.): *Motivation, Motor and sensory processes of the brain: Electrical Potentials Behaviour and clinical use*, Progress in Brain Research, vol. 54, Amsterdam, Elsevier North Holland Biomedical Press, pp. 51-56.