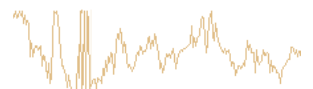


ANALISI
ELETTROENCEFALOGRAFICA
TRIDIMENSIONALE
QUANTITATIVA
NON INVASIVA ANCHE
DI POTENZIALI EVOCATI
E ATTIVITÀ CINETICA:
EQUILIBRI
ED ADATTAMENTI

Dott. Marco Ivaldi

*LEGGE DI PUGH:
Se il cervello umano fosse abbastanza
semplice da essere capito da noi, noi saremmo
troppo stupidi per capirlo.*

Arthur Bloch



P R E M E S S A

Sul perchè di un titolo così lungo.

Dare risposte, a volte, può divenire più difficile di quanto si potrebbe pensare.

Almeno ad una prima analisi.

Si possono dare risposte schematiche, frettolose, superficiali.

Si possono dare risposte vaghe.

Oppure ci si mette di piglio buono e ci si addentra nelle varie radici delle domande.

E allora dare risposte può divenire problematico.

*Nonostante questo ho specificato meglio, da cui il titolo, la tecnica a cui è affidata l'analisi dei **potenziali elettroencefalografici**.*

*Essa è **quantitativa**, prettamente, e non clinica.*

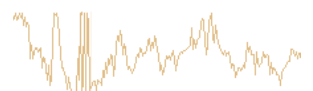
*Ha una proiezione **tridimensionale** grazie ai software presenti sul mercato (alcuni opensource sotto Gnu e con licenza GPL).*

***Non** è ovviamente **invasiva**, quindi non utilizza la tecnica degli aghi impiantati sotto cute.*

*Ed infine si avvale dell'analisi **anche di potenziali evocati**, ovvero di stimoli atti a provocare alterazioni della differenza di potenziale elettrico.*

*Il tutto con l'ovvio riferimento all'**attività cinetica**, meglio se in condizioni border line.*

Ecco spiegato il titolo.



S O M M A R I O

Capitolo 1

- 4 L'oggetto della misurazione, una introduzione sull'EEG

Capitolo 2

- 12 Cosa si vorrebbe misurare

Capitolo 3

- 13 Gli strumenti

Capitolo 4

- 14 Know how posseduto e know how mancante

Capitolo 5

- 15 I riferimenti

Capitolo 6

- 17 Analisi ed interpretazione dei dati raccolti

Capitolo 7

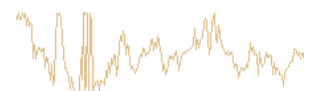
- 18 Prospettive ad un anno

Capitolo 8

- 18 Prospettive a tre anni

Appendici

- 19 a) Ditte che forniscono apparecchiature per analisi EEG
- 20 b) Bibliografia
- 21 c) Studi correlati
- 22 d) Riviste di settore
- 22 e) Lavori dell'Acquacetosa



CAPITOLO 1

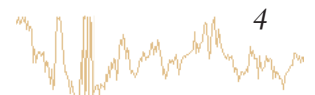
DEFINIZIONE

Sebbene la definizione dell'EEG faccia riferimento semplicemente alla **registrazione grafica dei fenomeni elettrici che avvengono nell'encefalo**, una analisi più attenta dimostra come la registrazione (ormai prettamente digitale) sia in effetti una rappresentazione grafica della variazione di potenziale elettrico di due tra i venti o più punti dello scalpo analizzati. In particolare la rappresentazione grafica delinea l'andamento temporale di questa differenza di voltaggio (espresso in microvolt) generata di volta in volta da un punto di riferimento dello scalpo periferico ed un punto costante mediano. La traccia che ne deriva è formata quindi da tot segnali, ognuno dei quali rappresenta un diverso punto di repere, sempre analizzato in riferimento al medesimo punto di riferimento mediano (tra le varie modalità di tracciato alcune utilizzano 3 punti di riferimento mediani).

L'EEG è pertanto di fatto una rappresentazione dei potenziali postsinaptici che si generano a livello corticale per azione dell'attività sincrona di circa 105 neuroni: sono così numerosi perchè il segnale deve attraversare diversi strati di tessuto non neurale tra cui le meningi, i liquidi intermedi, le ossa del cranio e la pelle prima di giungere all'elettrodo. L'EEG rileva la differenza di potenziale elettrico tra un elettrodo esplorante posto al di sopra della sede dove si svolge l'attività neurale e un elettrodo di riferimento (collocato ad una certa distanza dal primo): quest'ultimo può essere posizionato o sullo scalpo, riferimento cefalico, o in altri distretti corporei (mastoidi, lobi delle orecchie, dorso delle mani) ritenuti elettricamente inerti o comunque non dotati di attività elettrica propria, riferimento non cefalico.

L'attività spontanea del cervello, registrata in modo continuo, si presenta sotto la forma di onde di diversa frequenza; a tale attività si sovrappongono segnali specifici legati al compito particolare (sensoriale, motorio o cognitivo) in cui il soggetto è coinvolto durante la registrazione. Dal confronto fra l'attività spontanea e la sua variazione durante l'attività indotta è possibile individuare in tempo reale le aree di maggiore attività elettrica.

Se è vero, però, che la risoluzione temporale delle rilevazioni effettuate attraverso EEG è fra le migliori ottenibili con tecniche di registrazione dell'attività cerebrale (dell'ordine del millisecondo, pari a quella della registrazione intracorticale), la risoluzione spaziale del metodo elettroencefalografico rappresenta il suo maggiore limite: gli elettrodi rilevano infatti esclusivamente la corrente che giunge alla superficie del cranio e solo attraverso algoritmi di ricostruzione della provenienza del segnale è possibile individuare i foci da cui essa è prodotta (ricostruzione che, fra l'altro, non è univoca poiché tali algoritmi producono diverse fonti di attività corticale parimenti interpretabili come cause dei potenziali misurati in superficie). Ciò fa sì che la localizzazione dell'attività neurale permessa dall'EEG non dia informazioni che a livello dei lobi cerebrali o delle maggiori convoluzioni, senza sondare l'attività di strutture più ridotte.



ANATOMIA

I neuroni corticali sono organizzati in modo da formare ammassi colonnari ad orientamento perpendicolare alla superficie della corteccia cerebrale, di cui costituiscono le unità funzionali elementari. L'EEG è quindi l'espressione dei processi sinaptici (potenziali elettrici pre- e post-sinaptici), di potenziali dendritici e probabilmente anche di potenziali della neuroglia (cellule di sostegno).

I potenziali rilevabili tramite EEG sono quelli associati a correnti all'interno dell'encefalo che fluiscono perpendicolarmente rispetto allo scalpo. Una tecnica complementare all'EEG è la magnetoencefalografia (MEG), che permette di misurare le correnti che fluiscono parallelamente allo scalpo.

QEEG (elettroencefalografia quantitativa)

Il QEEG è una procedura non invasiva e offre una risoluzione temporale superiore paragonata alle altre tecniche di neuro-immagine come la già citata MEG, nonostante fornisca un'alta risoluzione temporale e spaziale, è uno strumento di monitoraggio cerebrale molto costoso rispetto al QEEG. Inoltre l'apparato per l'EEG è meno ingombrante rispetto a quelli richiesti per le altre tecniche (MEG, fMRI, SPECT e PET), che tipicamente monopolizzano un'intera stanza. In termini di tecnica di neuro-immagine, il QEEG mira a rilevare il metabolismo e la funzione, laddove invece le scansioni della risonanza magnetica e della tac riflettono la struttura. La procedura ha il vantaggio di essere accurata, funzionale, veloce e attendibile (1 minuto di dati puliti ha un'affidabilità del 94%, 2 minuti sono affidabili al 96%).

STORIA

La tecnica dell'EEG è stata inventata nel 1929 da Hans Berger, che scoprì che vi era una differenza di potenziale elettrico tra aghi infissi nello scalpo oppure tra due piccoli dischi di metallo quando essi sono posti a contatto sulla cute sgrassata del cuoio capelluto. La tecnica fu in seguito perfezionata da Herbert Jasper¹.

Nella maggior parte dei casi il segnale EEG viene acquisito per mezzo di elettrodi di superficie appoggiati allo scalpo del paziente e tenuti in sede da una cuffia elastica in neoprene. Un gel assicura la buona conduzione elettrica. Per registrazioni prolungate si usano elettrodi fissati allo scalpo con collodio (un collante che si scioglie con un apposito solvente).

¹ Il **montaggio Jasper** consiste nell'applicazione di otto elettrodi, che sono una piccola parte di quelli del "sistema 10-20" (cioè: Fp1, Fp2, C3, C4, T3, T4, O1, O2, più un elettrodo per lo scarico a terra ed un altro di riferimento, quest'ultimo solo nei tracciati con macchine digitali).



TECNICA

Gli elettrodi vengono applicati sullo scalpo secondo il posizionamento standard chiamato “**sistema internazionale 10-20**”. 10% oppure 20% si riferisce alla distanza tra due punti di repere cranici “inion” (prominenza alla base dell'osso occipitale) e “nasion” (attaccatura superiore del naso), questa distanza di solito va da 30 a 36 cm. con grande variabilità interpersonale. Solitamente vengono collocati 19 elettrodi e una massa, lungo cinque linee:

- 1) **P1**: longitudinale esterna
- 2) **P2**: long. interna di destra
- 3) Centrale
- 4) **P1**: longitudinale esterna
- 5) **P2**: long. interna di sinistra.

Tale montaggio a 20 canali fa riferimento alla derivazione 4^a, per convenzione l'ho presa ad esempio².

La linea trasversa T4-C4-Cz-C3-T3 (risultante delle precedenti) viene denominata montaggio **P3**, ed anch'essa deve seguire la regola del 10-20%. Gli elettrodi fronto-polari sono collocati al 10% (3-4 cm) della distanza I-N, sopra le sopraciglia, i frontali vengono collocati sulla stessa linea dei fronto-polari, più sopra del 20%, poi vengono i centrali (+ 20%), infine i parietali (+ 20%) e gli occipitali (+ 20%), con questi si arriva al 90% della distanza nasion-inion, ad una distanza del 10% dall'inion.

Alla posizione che ogni elettrodo occupa sullo scalpo fa riferimento una sigla. Le sigle che individuano la posizione di un elettrodo sono formate da una/due lettere, che permettono di identificare la regione della corteccia esplorata (Fp: frontopolare; F: frontale; C: centrale; P: parietale; T: temporale; O: occipitale) e da un numero (o una z) che identifica l'emisfero (numeri dispari: sinistra; numeri pari: destra; z: linea mediana).

² La scelta dell'esempio è da ricondursi alle mappature presenti nel Goldenshon.

IL SEGNALE

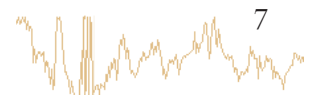
Il ritmo di base misurato è il ritmo **alfa** (“ritmo di Berger”) con una frequenza di 8-12 Hz (cicli/sec) di ampiezza media sui 40-50 microvolt, che viene registrato ad occhi chiusi in un soggetto sveglio, soprattutto tra gli elettrodi occipitali e quelli parietali rispetto ai centrali e temporali posteriori (EEG sincronizzato). Se si invita il soggetto ad aprire gli occhi, l'attività alfa scompare ed è sostituita da un'attività di basso voltaggio più rapida di tipo beta (14-40 Hz) (desincronizzazione). La differenza di potenziale tra le cellule nervose del cervello viene quindi misurata come differenza in voltaggio. Al fine di valutare questa differenza di potenziale le onde generate vengono valutate per la loro differenza in ampiezza (ed espresse in microVolt) ed in frequenza (ovvero in cicli per secondo o Hz). In un elettroencefalogramma normale le onde alfa sono prevalente a livello parietale e occipitale con un fenomeno di desincronizzazione all'apertura degli occhi. Le onde alfa sono caratteristiche in condizioni di veglia e di riposo mentale, ma non nel sonno, dove sono assenti (fatta eccezione per lo stadio Rem). Quando un soggetto è sottoposto ad un'attività cerebrale maggiore, si registra la presenza delle onde **beta**. Esse presentano una frequenza di circa 17-30 Hz e un voltaggio di circa 10-15 mV. Queste onde sono dominanti in un soggetto ad occhi aperti, ma anche in stati di allerta e nel sonno Rem.

Le onde **theta** sono dominanti nel neonato e possono rappresentare tensioni emotive, presentano una frequenza di 4-7 Hz e un ampiezza media di 100 mV. Infine, le onde delta, presentano una frequenza di 1-3 Hz e un voltaggio medio di circa 150 mV. Non sono presenti in condizioni fisiologiche nello stato di veglia nell'età adulta anche se sono predominanti nell'infanzia e inoltre compaiono nell'anestesia generale ed in alcune malattie cerebrali, oppure in malattie dismetaboliche generali, come l'iperazotemia. È l'onda caratteristica del sonno non rem (sonno ad onde lente). Nei diversi stadi del sonno sono presenti principalmente onde theta e onde delta, a cui si aggiungono squarci di attività alfa e di attività beta. L'EEG normale è una miscela di tutti i ritmi: il beta e l'alfa predominano, costituendo circa il 90/95 % delle frequenze. Il resto è theta (3/4%) e delta (addirittura 0,5/1%).

USI CLINICI

I più comuni usi clinici dell'EEG sono i casi di epilessia idiopatica, di disturbi convulsivi, di coma e per accertare lo stato di morte cerebrale, caratterizzato dal tracciato dell'EEG piatto (attività elettrica cerebrale inferiore ai 2 microvolt, per la durata di almeno 30 minuti, in paziente incapace di respiro spontaneo).

L'EEG viene inoltre utilizzato negli studi sul sonno, per poter discriminare tra vari tipi di disturbi come le apnee nel sonno, l'epilessia notturna, le dissonnie (insonnia, ipersonnia, narcolessia) e le parasonnie (bruxismo, enuresi notturna, pavor nocturnus, sonnambulismo).



REGISTRAZIONE

Dall'EEG spontaneo è possibile, attraverso alcune procedure di analisi, estrarre i potenziali evento-relati (ERPs), che consistono in modificazioni dell'attività elettrica cerebrale relate ad eventi interni od esterni all'individuo, come stimolazioni sensoriali, compiti cognitivi od azioni motorie.

Le procedure di rilevazione dell'EEG e degli ERPs sono le stesse e comprendono: l'applicazione degli elettrodi sui siti di interesse, l'amplificazione ed il filtraggio del segnale, la sua registrazione ed eventuale elaborazione.

Nei laboratori si utilizzano solamente elettrodi di superficie (non sono impiegati aghi), che vengono fissati alla cute con l'ausilio di collarini adesivi o di semplice cerotto.

In particolare:

- elettrodi a coppetta, in stagno e in argento rivestito di cloruro d'argento (Ag/AgCl), del diametro di 10 mm;
- elettrodi di riferimento, in stagno, in rame e in argento rivestito di cloruro d'argento (Ag/AgCl);
- elettrodi a disco, in argento rivestito di cloruro d'argento (Ag/AgCl) sinterizzati, del diametro di 10 mm;
- elettrodi biadesivi monouso (2x3 cm e 1,5x2 cm);
- elettrodi ad anello in acciaio inossidabile;
- electrode washers;
- elettrodi quick-insert;
- elettrodi di terra in velcro (a strappo).

Per registrare da un numero considerevole di punti dello scalpo si ricorre all'utilizzo di cuffie realizzate in tessuto elasticizzato (per garantire sempre una perfetta aderenza) con gli elettrodi già incorporati e predisposti secondo la disposizione standardizzata dei siti.

Le cuffie normalmente utilizzate sono:

- cuffia precablata con 23 elettrodi in stagno;
- cuffia precablata con 48 elettrodi in stagno;
- cuffia precablata con 29 elettrodi cefalici, 2 elettrodi di riferimento e 4 elettrodi poligrafici in stagno.

Prima di applicare gli elettrodi è necessario ridurre la naturale tendenza isolante della pelle pulendo e sgrassando accuratamente la regione d'interesse. Dapprima si strofina con una miscela d'alcool, poi, utilizzando un'apposita pasta abrasiva si provoca una fine dermoabrasione attraverso frizione meccanica con lo scopo di rimuovere sebo e cellule morte. Ultimata la pulizia si procede con l'applicazione degli elettrodi, il cui interno viene riempito con un gel elettroconduttore mediante una siringa con ago smussato. Questo ha il duplice scopo di creare un contatto ottimale elettrodo-cute, favorendo in tal modo la conduzione del segnale, e di ammortizzare eventuali movimenti, mantenendo un'adesione costante tra elettrodo e pelle. La procedura di preparazione della cute e di applicazione degli elettrodi è indolore e non provoca danni al cuoio capelluto.

Una volta applicati gli elettrodi si controllano le impedenze elettrodiche, per verificare che si trovino ad un valore inferiore ai 5 Khom. In caso contrario viene applicata nuovamente la pasta abrasiva ed il gel elettroconduttore.

Per quanto riguarda l'apposizione degli elettrodi si ricorre a due derivazioni standard, a seconda degli specifici quesiti sperimentali: in quella monopolare un elettrodo viene posto in un sito attivo mentre l'altro (detto di riferimento) in un sito elettricamente neutro (ad es. il mastoide, la punta del naso, il lobo dell'orecchio, il mento); questo tipo di registrazione evidenzia il livello assoluto di attività elettrica sottostante il sito attivo; nella derivazione bipolare, invece, tutti e due gli elettrodi sono posti su siti attivi dell'area di interesse e il segnale rilevato corrisponde effettivamente alla differenza che emerge tra le attività dei due siti. L'insieme delle derivazioni registrate simultaneamente costituisce un montaggio. A seconda del montaggio, gli elettrodi vanno posizionati sulla cute avendo cura di rispettare alcune corrispondenze tra aree corticali e sito di apposizione; a questo scopo si segue la dislocazione standardizzata detta "Sistema Internazionale 10/20" (AEEGS 1991).

Contemporaneamente all'attività elettrica cerebrale è possibile registrare i movimenti oculari orizzontali e verticali (EOG) e le possibili risposte muscolari (EMG) del soggetto. La registrazione dell'EOG corrisponde a variazioni di potenziale causate dal movimento dell'occhio, che elettricamente è definito dipolo sclero-corneale, ed avviene mediante degli elettrodi bipolari posti sull'orbitale dell'occhio. Il segnale relativo si presenta generalmente sotto forma di frequenze lente ed ampie.

L'attività elettromiografica viene registrata mediante elettrodi bipolari posti sopra i muscoli d'interesse, è dovuta alla contrazione muscolare che si verifica sotto gli elettrodi ed è caratterizzata, generalmente, da frequenze molto rapide.

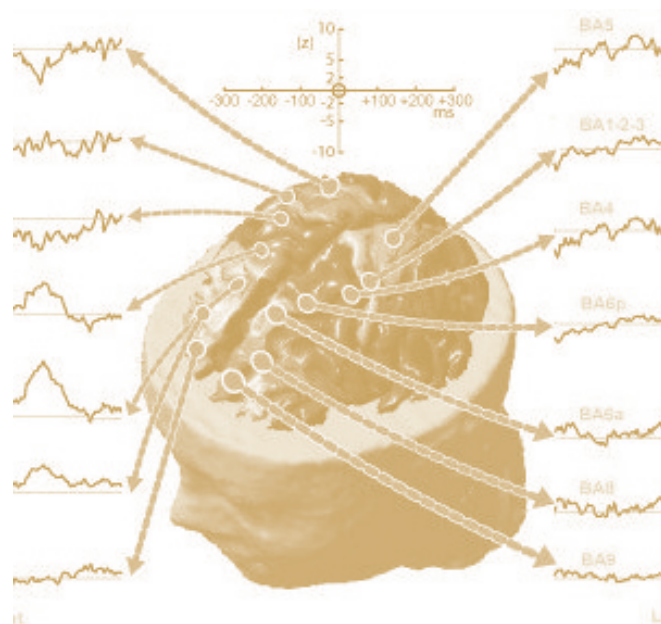
Ciascun elettrodo è munito di cavetto e di spinotto terminale con il quale viene collegato all'amplificatore tramite una scatola di derivazione (testina). Il segnale è amplificato in fase d'acquisizione di 20.000 volte e un filtro passa-banda taglia le frequenze inferiori o superiori ad una banda definita dalle caratteristiche del protocollo sperimentale. In seguito il segnale analogico è trasformato in digitale con una frequenza di campionamento a 250 Hz (un punto ogni quattro millisecondi). Tutte le altre analisi relative all'elaborazione dei segnali biologici e comportamentali (tempi di reazione o risposte verbali) sono effettuate successivamente, a registrazione finita, mediante software dedicato su PC commerciali.

Tutte le strumentazioni che vengono utilizzate per la gestione dei biosegnali sono apparecchiature commerciali.

Una registrazione standard in genere comprende:

- Spiegazione di tutte le procedure utilizzate e compiti da svolgere durante la registrazione al soggetto.
- Presa visione del consenso informato.

- Preparazione del soggetto: vengono pulite e sgrassate accuratamente le regioni d'interesse come descritto precedentemente; viene fatta indossare la cuffia al soggetto; quindi si espletano tutte le operazioni necessarie per ottenere una conduzione ottimale del segnale.
- Il soggetto viene fatto sedere comodamente su una poltrona all'interno di una cabina caratterizzata da un isolamento acustico ed elettrico (Camera silente faradizzata per EEG ad alta definizione), in condizioni d'assoluta tranquillità. Questo per evitare che il soggetto venga distolto dal proprio compito e che l'attività EEG venga contaminata da corrente parassita quale, ad esempio, la corrente di rete.
- Registrazione dell'EEG per almeno cinque minuti in condizione di base all'inizio ed alla fine della registrazione, durante i quali si chiede al soggetto di aprire e chiudere alcune volte gli occhi per valutare la qualità del segnale e si effettua la calibrazione.
- Inizia il compito cognitivo comportamentale specifico (si veda il progetti di ricerca). Il compito sperimentale è ripetuto nello stesso modo con gli stessi stimoli, un numero sufficiente di volte per permettere la raccolta delle informazioni necessarie per le analisi del segnale.
- Registrazione della posizione degli elettrodi posti sullo scalpo. All'inizio si individuano sulla testa del soggetto le posizioni corrispondenti ai quattro classici punti craniometrici: Nasion (N), Inion (I) e i 2 punti pre-auricolari sinistro (A1) e destro (A2). Dopo averli segnati con un marker sulla testa del soggetto, si pongono in modo stabile sulla stessa i 3 ricevitori R2, R3 e R4, rispettivamente in vicinanza di A1, A2 ed N. In seguito, attraverso l'uso di una stilo, vengono "digitalizzate" la posizione dei 4 punti craniometrici di riferimento e, successivamente, la posizione dei singoli elettrodi.



POTENZIALI EVOCATI

I potenziali evocati sono genericamente di 5 tipi a cui vengono ricondotti tutti le possibili attività del soggetto:

- **Potenziali Evocati Visivi (PEV):** consistono nel far fissare al soggetto uno schermo di computer che alterna ritmicamente un'immagine e nel registrare la risposta dalle regioni occipitali. *Tempo di esecuzione: circa 30 min.*
- **Potenziali Evocati Acustici (PEA o BAERS):** vengono eseguiti facendo ascoltare dei toni puri da un lato e mascherando il contro-laterale con rumore bianco e registrando dalla sommità del capo. Servono prevalentemente ad esplorare le vie acustiche nel loro decorso lungo il tronco dell'encefalo. Importanti riduzioni dell'udito ne compromettono l'attendibilità. *Tempo di esecuzione: circa 40 min.*
- **Potenziali Evocati Somato-Sensoriali (PESS):** si ottengono stimolando con piccole scosse elettriche il tronco nervoso di un nervo al polso (per gli arti superiori) o alla caviglia (per gli arti inferiori) e registrando l'impulso sensitivo lungo il decorso del nervo, a livello vertebrale e cerebrale con elettrodi di superficie. *Tempo di esecuzione: circa 60 min. (per coppia di arti).*
- **Potenziali Evocati Evento-Correlati (P300):** consistono nel far riconoscere al soggetto degli stimoli acustici o visivi infrequenti che vengono intercalati ad altri stimoli molto più frequenti ma con caratteristiche diverse e registrando una specifica risposta di "riconoscimento" che si genera a livello cerebrale. *Tempo di esecuzione: circa 45 min.*
- **Potenziali Evocati Motori**

CAPITOLO 2

L'analisi del tracciato EEG e dell'immagine 3D è volta a comparare soggetti impegnati in abilità motorie di destrezza fine, od altro impegno a discreta attività dell'area motoria corticale, ed a sua volta comparare il tracciato medio dei soggetti (circa 12/24) con l'analisi del tracciato risultante dal medesimo esercizio in condizioni fisiologiche alterate (come nel caso dell'ipotermia o della alterata pressione atmosferica).

La domanda a cui si vorrebbe dare risposta è la seguente:

*C'è un cambiamento nel lavoro cerebrale in caso di alterazioni dell'omeostasi fisiologica?
C'è un feedback di ritorno dato da strutture sensorie periferiche capaci di influenzare l'attività cerebrale?*

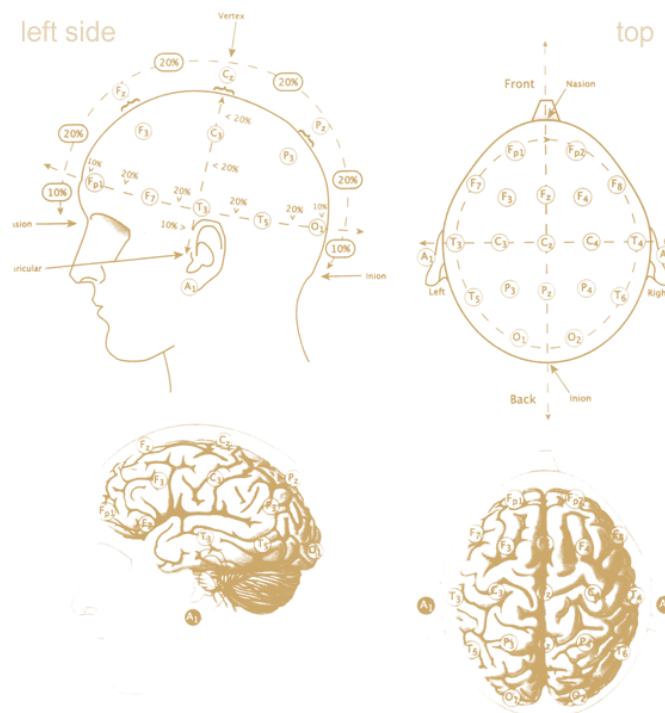
Un subacqueo impegnato in compiti di relativa abilità manuale ha un impedimento dato anche dall'alterata attività cerebrale in caso di ipotermia od in caso di cattivo adattamento alla profondità?

E frequente monitorare la narcosi d'azoto in caso di immersioni ad aria con compiti logico - matematici da effettuare in immersione.

Ci si chiede se, sottoposti ad un disequilibrio fisiologico (temperatura, ipossia, pressione atmosferica), il cervello non modifichi anche la sua espressione relativa al segnale elettrico ed in definitiva alla sua attività.

E, con il sorriso sulle labbra, se d'inverno fatico ad impugnare un mazzo di chiavi per aprire una serratura, oltre all'evidente ipotermia distrettuale periferica capace di diminuire la sensibilità delle dita è possibile anche un'alterata attività cerebrale soprattutto nell'area motoria?

Ovviamente questi sono sviluppi. Di per sé sarebbe interessante quantomeno analizzare, tanto per iniziare, i tracciati su soggetti impegnati in attività motoria.



CAPITOLO 3

Un moderno elettroencefalografo digitale è costituito da un computer collegato ad una testa, contenente gli amplificatori differenziali e un convertitore analogico-digitale, alla quale vengono collegati gli elettrodi.

Esistono diversi tipi di elettrodi, comunemente si utilizzano dei dischetti di acciaio inossidabile, latta, oro o argento, clorurati e collegati ad un cavo. Alternativamente, si può utilizzare una cuffia con gli elettrodi inseriti.

I moderni software di analisi dei tracciati sono in grado di filtrare i segnali ricevuti e evidenziare gli artefatti, sono inoltre capaci di ipotizzare una struttura cefalica 3D per correlare a livello spaziale l'emissione.

Questi software per la ricostruzione delle sorgenti del potenziale corticale permettono di ovviare al problema della scarsa risoluzione spaziale della EEG: questi programmi calcolano, attraverso particolari algoritmi, quale sia la più probabile regione della corteccia che ha originato la differenza di potenziale elettrico rilevata come picco dall'elettrodo.

Fabrizio Musa ha ideato nel 2005 un elettroencefalografo digitale con interfaccia usb. I software open source su citati possono essere visionati nella scheda presente in <http://eeg.sourceforge.net/>

In sintesi:

- 1 elettroencefalografo a 32 - 64 canali
- 1 scheda per acquisizione a 64 canali ed upgrade
- 1 sistema per l'acquisizione e l'analisi di dati neurofisiologici (es. Scan 4.3) composto da un amplificatore a 32 - 64 canali, da un software di acquisizione e da un software di elaborazione (es. Neuroscan)
- Software avanzato per l'analisi dei tracciati EEG e dei potenziali evocati con rappresentazione di mappe tridimensionali, analisi delle sorgenti e rappresentazione dei dipoli

CAPITOLO 4

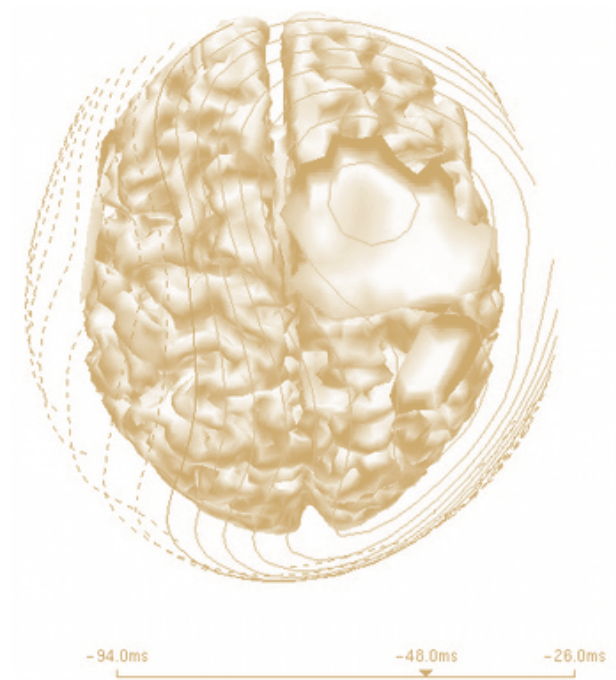
Ciò che si possiede è la conoscenza della fisiologia sportiva derivata dalla laurea magistrale in scienze e tecniche dello sport oltre alla relativa esperienza nel campo della preparazione sportiva di alto livello ed estrema, soprattutto a livello subacqueo (sia con respiratori che in apnea). Tutto il campo di analisi ed interpretazione del segnale, di procedure di preparazione e di gestione degli artefatti deve invece essere appreso e sperimentato. Fortunatamente la mia passione per l'informatica e per i sistemi opensource su piattaforma linux mi consente di ovviare ad un eventuale, estremamente complesso, addestramento informatico del campo in esame.

Attualmente sto approfondendo lo studio teorico, con i relativi problemi legati alla mancanza della messa in atto delle applicazioni pratiche e sto relazionando in maniera continua con l'Ing. Luca Feletti, un ingegnere elettronico con dottorato in signal processing, per l'acquisizione di alcune competenze non prettamente biologiche.

Alcuni centri in Italia si occupano di analisi quantitativa del segnale elettroencefalografico e propongono corsi di aggiornamento e seminari tecnici. Alcuni dottorati in signal processing sono attivati soprattutto presso il CNR di Pisa e forniscono molto materiale didattico e la consultazione delle tesi e degli articoli.

L'Università degli studi di Torino ha attivato presso la facoltà di Medicina e Chirurgia un corso di analisi del tracciato EEG.

Per le mie competenze è utile visitare il sito <http://studioares.jimdo.com>



CAPITOLO 5

I riferimenti tra chi attualmente è impegnato ai massimi livelli nell'analisi EEG:

Fabrizio Eusebi³ Direttore del dipartimento di fisiologia umana e farmacologia all'Università La Sapienza - Roma.

Responsabile dell'unità di Ricerca dell'Istituto di medicina e scienza dello sport del CONI.

Franco Ferrillo⁴ Università degli studi di Genova, dipartimento di scienze motorie e riabilitative.

Flavio Nobili.

Febo Cincotti.

F. Caravaglios⁵ Dipartimento di Fisica - Università di Milano.

Roberto Zappoli Thyrión⁶ Dipartimento di Scienze Neurologiche e Psichiatriche, Università di Firenze.

Roberto Pozzi Mucelli⁷ Università degli studi di Trieste.

Lucia Carriero Centro per le neuroscienze BRAIN.

Marco Della Torre Emotiv Systems, San Francisco USA / progetto Eloc.

Team della Neurosky di San Jose.

Alan Gevins, neuroscienziato e fondatore della Sam Technology di San Francisco.

Gerwin Schalk, ricercatore del Wadsworth Center di Albany, New York.

Gruppo Cognitiveneuroscience Carlo Miniussi, Claudio Bonato.

Sezione di Neuroscienze Cognitive, Unità Operative di Ricerca del Centro San Giovanni di Dio Fatebenefratelli.

AFaR, Dipartimento di Neuroscienze, Ospedale Fatebenefratelli Isola Tiberina, Roma.

Centro di neuroscienze cognitive, Università Vita-Salute S.Raffaele, Milano.

Dipartimento di Neuroscienze, Sezione di Neurologia, Università di Siena.

Dipartimento di Scienze Cognitive, Università di Trento polo di Rovereto.

Istituto di Tecnologie Cognitive del Consiglio Nazionale delle Ricerche (ISTC, CNR), Roma.

Macquarie Centre for Cognitive Science, Macquarie University, Sydney, Australia.

School of psychology, Sidney University, Sidney, Australia.

Claudio Miniussi e Caro Maioli, Università degli studi di Brescia.

Virgilio Gallai⁸ Sedi consorziate delle Università di Perugia-Roma-Milano-Camerino.

Gruppo di interesse sul BCI (Brain computer Interface).

³ Nel 2007 pubblica sul "Journal of Physiology" i risultati di uno studio volto ad analizzare la correlazione tra onde di frequenza Alfa e la precisione del tiro dei giocatori di golf della Nazionale Italiana, aumentando nel contempo la scientificità dell'approccio al Neurofeedback nell'addestramento tecnico-motorio sportivo.

⁴ *Oscillazioni ultradiane della vigilanza e alterazioni della struttura ipnica nella narcolessia: relazione fra aspetti neurofisiologici, cognitivi, neurometabolici e genetici.*

⁵ Ha pubblicato uno studio sull'elettroencefalografia quantitativa: analisi della complessità dello spettro di frequenza e della dimensione frattalica in veglia e durante sonno lento.

⁶ Numerose pubblicazioni internazionali su: Invecchiamento dei sistemi sensoriali e dei processi cognitivi.

⁷ **TEBAM**: studio, sviluppo e validazione fisiologica - clinica di una metodica multimodale per una mappatura realistica 3D dell'attività cerebrale in soggetti normali.

⁸ Direttore del Dottorato di Ricerca in: "Fisiopatologia cerebrovascolare e processi di recupero".

I.Li.Tec (Independent Life Technology).

Dipartimento di Neuroscienze Università di Roma Tor Vergata.

Alfonso Caramazza CIMEC.

Reinhard Wilhelm Prior Centro di Neurologia Bari.

Andrea Nuccitelli Genoma.

Brain mind and life International society of neuroscience.

Centro interdipartimentale per le neuroscienze.

Società Italiana di Neurofisiologia Clinica.

Bernardo Nardi, Emidio Arimatea, Marco Brandoni, Ilaria Capecci, Rossella Colucci, Arnaldo Giacomucci, Anna Maria Morresi, Lucia Pellei.⁹

Dario Taraborelli, Università degli studi di Pisa.¹⁰

Frijia Francesca.¹¹

Chris Linder cofondatore dei Demiurge Studios di Cambridge, in Massachusetts, Direttore di Neurosky.

Luigi Murri.

Ferdinando Sartucci.

Oriano Mecarelli.

Gruppo di ricerca: Andrea Bonarini, Bernardo Dal Seno, Matteo Matteucci.¹²

Donatella Mattia.

Fabio Babiloni.

Tonali, Bianchi, Da Dalt, Del Favero, Di Rienzo, Gramatica, Biomedica technology department, fondazione don carlo gnocchi: brain computer interface Comitato di sviluppo.

Centro studi e ricerche enrico fermi.

Massimiliano Zampini e Francesco Pavani, Laboratorio di Scienze Cognitive e del Centro Interdipartimentale Mente/Cervello dell'Università di Trento.

Michele Trimarchi¹³ Tecniche di Brain Imaging.

Brain Health Centre Università Roma Tre - Università La Sapienza.

Donatella Spinelli¹⁴, Istituto Universitario Scienze Motorie - Scienze della formazione per le attività motorie e dello sport - Roma.

Society for neurosciences.

BCI.

BrainGate Neural Interface System (CYBERKINETICS).

Wadsworth Center, Department for health.

IPCA (Intelligent physiological navigation and control of web-based applications).

⁹ Ricerca: Elaborazione corticale di un brano musicale in musicisti e non musicisti indagata mediante elettroencefalografia computerizzata (EEG-C).

¹⁰ Paradigmi sperimentali per la scomposizione e la localizzazione dei processi cognitivi.

¹¹ Studio dell'attività cerebrale attraverso la soluzione del problema inverso applicata ad un'acquisizione di dati EEG e Fmri.

¹² Adaptive models for accessible Human-Machine interfaces.

¹³ Corso multidisciplinare integrato al fine di correlare aspetti comportamentali e neurofisiologici per dare una visione dinamica dei processi che sottostanno allo sviluppo emozionale, razionale e motorio del cervello.

¹⁴ Spazio percepito, spazio agito e disturbi spaziali: aspetti clinici, elettrofisiologici e di neuroimmagine.

CAPITOLO 6

Dal punto di vista strettamente neurofisiologico, l'interesse è incentrato soprattutto sullo studio delle caratteristiche di modulazione dell'attività elettrica corticale indotta dall'esecuzione di compiti motori specifici che richiedano l'intervento di risorse muscolari in capacità adattative e coordinative, in particolare oculo manuali, ma anche di risorse cognitive nella soluzione di compiti (ancorché motori) sui quali è stata indotta una modificazione fisiologica tale da arrecare disturbo nel suo normale svolgimento ed un conseguente adattamento fisiologico.

Informazioni rilevanti a tale riguardo potrebbero derivare dall'analisi dell'attività elettroencefalografica con le proprie caratteristiche di sincronizzazione/desincronizzazione e coerenza sia intra che interemisferiche.

L'introduzione di appositi algoritmi matematici in grado di migliorare l'analisi del segnale elettrico, soprattutto attraverso un'ottimizzazione del rapporto segnale/rumore con conseguente miglioramento delle capacità di risoluzione spaziale, ha portato ad una rivalutazione dell'utilizzo dell'EEG.

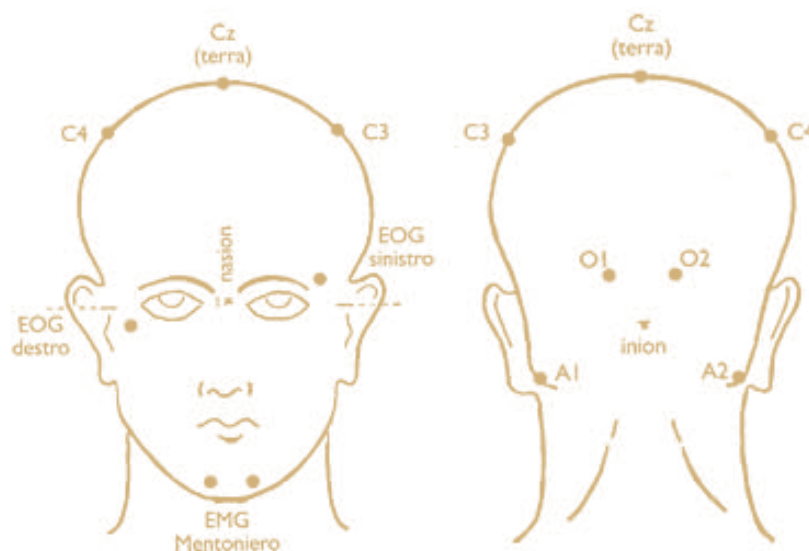
Come si modifica il segnale EEG in caso di ricerca di omeostasi da parte del corpo?

Stimoli esogeni in grado di alterare l'equilibrio fisiologico possono essere intercettati ed elaborati per ottenere una risposta periferica dal cervello?

Come avviene questa risposta?

L'analisi è strettamente legata al segnale, da cui ne deriva una sua corretta interpretazione anche con l'ausilio dei già citati software.

Il contenuto del capitolo è, in sostanza, il contenuto stesso della ricerca.

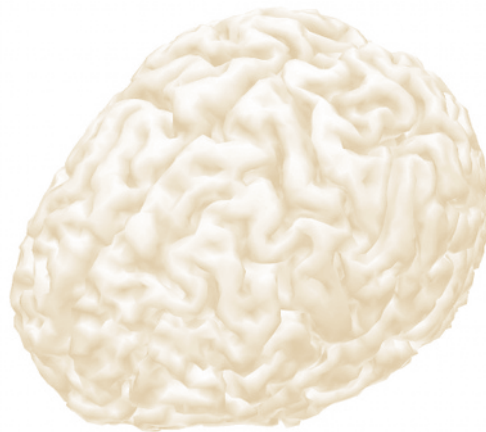


CAPITOLO 7

- Saper analizzare ed interpretare con sicurezza il segnale EEG, riconoscendo gli artefatti e le modificazioni indotte.
- Avere una sufficiente padronanza pratica delle metodologie applicate ed una approfondita conoscenza teorica di tutto il bagaglio anatomico-fisioneurologico-psicologico legato all'analisi del segnale elettrico cefalico.
- Impostare ed evidenziare le possibili applicazioni pratiche legate alla ricerca sviluppata, sviluppare nuove ramificazioni del campo di ricerca.
- Avere un sufficiente bagaglio esperienziale sull'analisi del segnale ed una approfondita panoramica sugli studi a livello internazionale correlate e sulle afferenze legate a discipline contigue o divergenti.

CAPITOLO 8

- Definire l'effettività o meno delle alterazioni del segnale elettroencefalografico (e per quale aree cerebrali) su soggetti in stato di omeostasi fisiologica alterata o in condizioni fisiologiche estreme. Studio su un campione significativo ed analisi dei risultati ottenuti con ipotesi di causalità effettiva.



APPENDICE A

Ditte che forniscono apparecchiature per analisi EEG:

NEUROSCAN

BIONEN SAS *Italia*

OMICRON T SRL *Italia*

EBNEURO SpA *Italia*

RGMD SpA *Italia*

TECNOHEALT *Italia*

BRAVIDA SVERIGE AB *Svezia*

DE GOTZEN SRL *Italia*

EQUIPAR SRL *Italia*

INSTALLATIEBEDRIJF DE LOUW RAVENSTEIN BV *Paesi Bassi*

KRIEG ELECTRONIC-GEHAEUSEBAU GMBH *Germania*

MEDI SOFT SA *Belgio*

MEGAMED AG *Svizzera*

Accessori:

MODULDIAGRAM SRL *Italia*

SCHUHFRIED GMBH *Austria*

CERACARTA SPA *Italia*

PIRRONE & CO. SPA *Italia*

REBEL SNC *Italia*

STRUMENTAZIONE ELETTRONICA INDUSTRIALE *Italia*

APPENDICE B

Bibliografia:

- E. Goldensohn, A. Legatt, S. Koszr, S. Wolf, L'Interpretazione dell'EEG secondo Goldensohn; problemi di sovrastima e di sottostima, CIC, Roma, 2000.
- E. Niedermeyer, F. Lopes da Silva, Electroencephalography, III ed. Williams & Wilkins, Baltimore, 1998.
- E.R. Kandel, J.H. Schwartz, T.M. Jessel, I Principi di neuroscienze, II ed., Casa Ed. Ambrosiana, Milano, 1994.
- M.R. De Feo, O. Mecarelli, Testo-Atlante di elettroencefalografia clinica, Marrapese, Roma, 2001.
- P. Genta, S. Bonini, I. Bruni, EEG Acquisizione del segnale elettroencefalografico.
- Musolino R. - Gallitto G, L'Elettroencefalografia nella pratica clinica, BIOS.
- Glossario Illustrato di EEG.
- P. Hazemann, M. Masson, ABC di elettroencefalografia, Masson.
- M. Brazier, L'attività elettrica del sistema nervoso, 1978.
- J. Delay, electroencephalographie clinique, 1978.
- Kellaway, automation of clinical electroencephalography, 1973.
- K. Kool Fondamenti di elettroencefalografia, 1974.
- G. Longo Electroencephalographic atlas for pharmacological research vol.1 1962.
- A. Remond, Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology 1973.
- Speckmann, Caspers, Origin of cerebral field potentials 1979.
- Sperti, Lugares, Conferenze di aggiornamento della società italiana di elettroencefalografia 1967.
- R. Schwab, Metodi di attivazione dell'elettroencefalogramma.
- J. Kugler La elettroencefalografia nella clinica e nella pratica.
- G. Dolce, C. Tassinari, Telemetria e elettroencefalografia nel sonno.
- A. Lutz, Long-term meditators self-induce high-amplitude gamma synchrony during mental practice, Proceedings of the national Academy of sciences, 2004 (16369 - 16373).
- J. Andreassi, Psychophysiology, L. Erlbaum Associates, Hillsdale 1995.
- E. Basar, Dynamics of sensory and cognitive processing by the brain, Springer-Verlag, 1988, Berlin.
- R. Thompon, M. Patterson Electroencephalography and human brain potentials, Academic Press, 1974, New York.
- H. Haken, Principles of brain functioning, Springer Verlag, 1996, Berlin.
- C. Nunn, Awareness, Routledge, 1966, New York.
- D. Regan, Human Brain electrophysiology, Elsevier, 1989, New York.
- F. Duffy, Topographic mapping of brain electrical activity, Butterworth, 1986, Boston.
- M. Magnelli Le onde e la coscienza, un panorama della scoperta e delle ricerche di psiconeurofisiologia e delle ricerche sulle onde elettromagnetiche del cervello.

L.Murri; F.Sartucci, Aggiornamenti in elettroencefalografia e tecniche correlate, Plus Editore.

E. Hirsch, Basi neurofisiologiche dell'elettroencefalografia clinica e principali indicazioni.

Margnelli, Natura e struttura di alcuni stati di coscienza.

F. Babiloni, V. Meroni, R. Soranzo, Neuroeconomia, neuromarketing e processi decisionali nell'uomo, Ed. Paperback.

D. Giannitrapani, Analisi spettrale dell'eeg e funzioni mentali.

APPENDICE C

Studi correlati:

Andrea Scipione, Classificazione del segnale EEG per il riconoscimento di stati mentale basata sugli Hidden Markov Model.

Angela Cattini, Interfacce cervello-computer per la classificazione dell'attività immaginativa dell'uomo.

Francesco Semeraro, Riconoscimento stati mentali mediante classificatori lineari.

Laura Astolfi, Sviluppo e validazione di metodi per la stima della connettività corticale mediante misure non invasive dell'attività cerebrale nell'uomo.

Marco Mattiocco, Stima dell'attività corticale nell'uomo correlata all'immaginazione motoria con metodi di stima lineare.

P. Bruno, P. Inchingolo, F. Meneghini, S. Mininel, F. Vatta, (Gruppo di Bioingegneria e ICT, BRAIN, CISC, DEEI) Studio e sviluppo di metodiche per la mappatura realistica 3d dell'attività elettrica cerebrale in ambiente hpc mediante approccio lead-field.

M. Girardi Analisi di un pacchetto per il calcolo scientifico e raffinamento del problema inverso dell'EEG.

B. Nardi, E. Arimatea, M. Brandoni, I. Capecci, R. Colocci, A. Giacomucci, A. Morresi, L. Pellei, Elaborazione corticale di un brano musicale in musicisti e non musicisti indagata mediante elettroencefalografia computerizzata (EEG-C) (Clinica Psichiatrica, Dipartimento di Neuroscienze dell'Università Politecnica delle Marche, Ancona, Accademia dei Cognitivi della Marca, Accademia Musicale di Ancona).

L. Becchi, Coregistrazione di ElettroEncefaloGrafia e Stimolazione Magnetica Transcranica: rimozione dal segnale cerebrale degli artefatti TMS-indotti.

S. Bufalari, Elaborazione della reattività di ritmi corticali motori finalizzata al controllo di un cursore nel contesto di interfacce cervello-computer (Brain Computer Interface).

G. Vercelli, U. Marcaccioli, W. Giroidini, Valutazione dell'efficacia di un comando\segnale post-ipnotico mediante monitoraggio eeg.¹⁵

¹⁵ Ricerca effettuata presso il Centro di Psicologia dello Sport della S.U.I.S.M. (Scuola Universitaria Interfacoltà in **Scienze Motorie**) di Torino.

APPENDICE D

Riviste:

- Neurotube.
- The Italian Journal of Neurological Sciences.
- Neurolab.
- IEEE Signal Processing Magazine.

APPENDICE E

Lavori dell'Acquacetosa:

- Esperimenti di elettroencefalografia in corso su atleti di elite di karate e scherma.
- Esperimento per lo studio della plasticità dei processi corticali visuo-attentivi in situazioni di “combattimento virtuale”.
- Esperimento per lo studio del ruolo causale dei sistemi “mirror” frontoparietali nella comprensione delle intenzioni e delle azioni altrui.
- Esperimento per lo studio dell'effetto di induzioni suggestive e stimolazioni fisiologiche sulla prestazione.
- Sistema di elettroencefalografia (eeg) per la valutazione dell'attività corticale.
- Sistema per il visual training (futuro equipaggiamento).
- Sviluppo di procedure computerizzate per la valutazione delle prestazioni degli schermatori in condizioni compatibili con le registrazioni sperimentali dell'attività cerebrale
 - procedura 1:* video di assalti schermistici reali e registrazione delle risposte comportamentali degli schermatori su tastiera di computer
 - procedura 2:* videogame con un manichino-schermitore 3-d che esegue assalti schermistici
 - procedura 3:* realtà virtuale con un manichino-schermitore 3-d.
- Esperimento per lo studio della plasticità dei processi corticali visuo-attentivi di atleti di elite in situazioni di “combattimento virtuale”.
- Sistema di elettroencefalografia (eeg) per la valutazione dell'attività corticale.
- Esperimento per lo studio del controllo corticale dell'equilibrio sulla pedana stabilometrica in atleti di elite.
- Esperimento per lo studio dell'effetto di stimolazioni fisiologiche audio-visive sulla prestazione.