



Università degli Studi di Padova

Scuola di Psicologia – Dipartimento di Psicologia Generale (DPG)

Corso di Laurea Triennale in Scienze Psicologiche Cognitive e Psicobiologiche

Tempo Implicito ed Esplicito: lo studio dei Potenziali Evento-Relati

Relatrice: Giovanna Mioni

Correlatrice: Fiorella del Popolo Cristaldi

Laureanda: Alessandra Mura

Matricola: 2046297

Anno Accademico 2023/2024

INDICE.....	2
ABSTRACT.....	3
Capitolo 1: INTRODUZIONE.....	3
a) Basi teoriche su EEG ed ERP.....	3
b) Percezione del tempo implicito ed esplicito.....	8
c) ERP e tempo implicito ed esplicito.....	13
Capitolo 2: METODO.....	14
a) Soggetti.....	15
b) Compito di bisezione e stimoli.....	16
c) Apparato con cui è stato presentato lo studio (materiali).....	18
d) Procedura seguita.....	19
Capitolo 3: ANALISI DEI DATI E RISULTATI.....	21
a) RISULTATI EEG.....	22
b) RISULTATI ERP (CNV).....	23
c) Analisi comportamentali.....	24
Capitolo 4: DISCUSSIONE.....	25
BIBLIOGRAFIA.....	27

ABSTRACT

Lo studio si propone di indagare la relazione tra percezione del tempo Implicito ed Esplicito tramite la registrazione dell'Elettroencefalografia (EEG) e la conseguente estrapolazione dei Potenziali Evento-Relati (ERPs) che si verificano durante i relativi compiti di foreperiod e di bisezione. Vengono quindi indagati i principali ERPs che si pensa sottendano l'elaborazione temporale, tra cui la CNV (Contingent Negative Variation, Walter et al., 1964), la quale è stata osservata sia in compiti di tempo Esplicito (Macar & Vidal, 2003, 2004; Pfeuty et al. 2003) che di tempo Implicito (Praamstra et al., 2006). Per studiare queste componenti e poter confrontare i due compiti, è stata modificata la modalità di risposta nel compito di foreperiod da un tasto a due tasti, così come nel compito di bisezione, a partire dallo studio di Capizzi, Visalli, Faralli e Mioni del 2022 ("Explicit and implicit timing in older adults: Dissociable associations with age and cognitive decline"), il quale si basa sul presupposto che i potenziali corticali che si verificano durante la risposta sono controlaterali all'effettore e si suppone che in base al compito ci sia una certa lateralizzazione (Coull & Nobre, 2008, i quali citano Geiser et al. e Serrien et al.).

Capitolo 1

INTRODUZIONE

1) Basi teoriche su EEG ed ERP

L'Elettroencefalografia (EEG) è la registrazione dell'attività elettrica del cervello (Berger, 1929). In particolare è prodotta dall'insieme delle fluttuazioni spontanee e continue dei potenziali elettrici corticali, ovvero la sommazione dei potenziali post-sinaptici (PPSs, Buzsáki et al., 2012; Speckmann et al., 1993) delle cellule piramidali (neuroni più grandi e numerosi che formano un dipolo tra soma e dendriti apicali) perpendicolari allo scalpo (Luck, 2014), le quali producono un voltaggio tra i 30 e

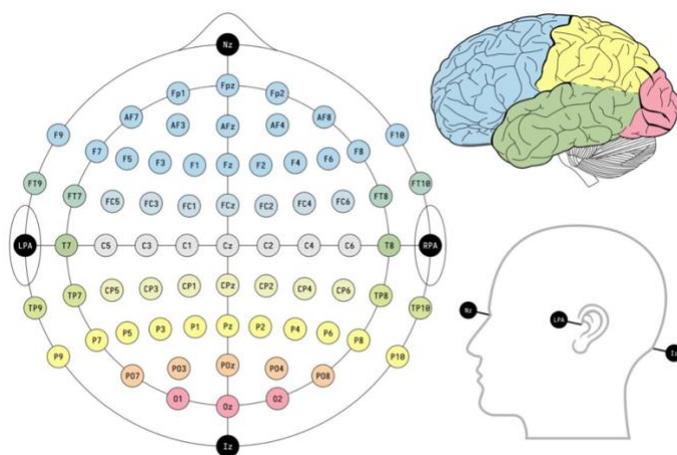
i 50 mV. L'Elettroencefalogramma, la rappresentazione grafica dell'attività elettrica corticale, è registrata a livello dello scalpo tramite degli elettrodi di superficie o sensori, che vengono collocati sulla testa secondo procedure non invasive (Jasper and Carmichael, 1935). L'attività EEG spontanea relativa a una determinata zona (Adrian & Matthews, 1934) può essere suddivisa in 5 bande di frequenza, cioè range di frequenza che caratterizzano le diverse oscillazioni sinusoidali elettriche che compongono il segnale EEG. Altre caratteristiche delle oscillazioni oltre la frequenza (che rappresenta il numero di oscillazioni in secondo e si misura in Hertz o Hz), ci sono l'ampiezza (che indica quanto è forte il segnale e si misura in millivolt o mV) e la fase (che indica in quale punto dell'oscillazione ci si trova). Il segnale può quindi essere scomposto tramite la Trasformata di Fourier (1822) in diversi tipi di onde, ciascuna con la rispettiva banda di frequenza:

- Onde Gamma (30-100 Hz) → si presentano in casi di stimolazione sensoriale e codifica mnemonica (elaborazione delle informazioni e consolidamento nella memoria a lungo termine), quindi apprendimento (Miltner et al., 1999);
- Onde Beta (12-30 Hz) → si presentano in situazioni di veglia attiva, quando si è in stato di allerta (Bouyer et al., 1987); queste onde hanno la loro ampiezza massima nelle regioni frontali e pre-centrali;
- Onde Alpha (8-12 Hz) → (Berger, 1929) si presentano in situazioni di veglia rilassata, cioè quando si hanno gli occhi chiusi; queste onde hanno la loro ampiezza massima nelle regioni occipito-parietali; la loro scomparsa denota una desincronizzazione del segnale (Pfurtscheller, 1977; Pfurtscheller & Aranibar, 1977).
- Onde Theta (4-8 Hz) → si presentano nel momento dell'addormentamento o in casi di ipnosi o meditazione (Schacter, 1977);
- Onde Delta (0,5-4 Hz) → si presentano durante il sonno profondo (Niedermeyer, 1993).

La relazione tra frequenza e ampiezza è inversamente proporzionale, quindi all'aumentare della frequenza, diminuisce l'ampiezza. Pertanto, possiamo distinguere attività veloce (quando i neuroni producono potenziali d'azione in maniera irregolare e asincrona, per es. Beta e Gamma) e attività

lenta (quando l'attività dei neuroni è sincronizzata, cioè diverse popolazioni di neuroni producono potenziali d'azione in maniera sincrona, per es. Delta e Theta).

Per il montaggio degli elettrodi si seguono le linee guida internazionali per il posizionamento degli elettrodi sullo scalpo, utilizzando il Sistema Internazionale 10-20, che consiste nell'adottare distanze proporzionali del 10 e/o del 20 % lungo la linea sagittale che collega Inion e Nasion (i quali rappresentano rispettivamente due ossicini dietro la nuca e sopra il naso) e lungo la linea trasversale che collega le depressioni auricolari (Jasper, 1958). I siti in cui collocare gli elettrodi sono indicati da una lettera (che indica l'area cerebrale: O = Occipitale, P = Parietale, T = Temporale, F = Frontale) e un numero (che indica la lateralizzazione, se pari sta per emisfero destro e dispari per emisfero sinistro, e la distanza dalla linea mediana), e ciascuno di essi corrisponde a un canale all'interno dell'EEG (American Encephalographic Society, 1994a).



Disposizione canali secondo il SI 10-20

I Potenziali Evento-Relati (ERP) sono variazioni sincrone dell'attività corticale registrate tramite EEG, ma sono meno ampi (2-10 mV) rispetto all'attività oscillatoria spontanea dell'EEG e da essa mascherati (Davis, 1939; Davis et al., 1939; Galambos & Sheatz, 1962; Allison et al., 1986). Si estraggono tramite il processo di averaging (Luck, 2014), che consiste nel fare la media di un certo numero di segmenti di EEG (detti epoche, che iniziano circa 100 millisecondi prima ^[1] della comparsa dello stimolo) che includono l'evento d'interesse, associato a un marker. Per svolgere l'averaging l'evento deve essere ripetuto almeno 30-50 volte: bisogna mettere in evidenza l'attività in comune di ogni epoca e ridurre il rumore (l'attività casuale) in maniera proporzionale alla radice quadrata del

numero di ripetizioni dello stimolo. Gli ERP sono associabili a degli eventi particolari (non casuali come il rumore), quali processi cognitivi e psicologici, una risposta alla presentazione di un determinato stimolo esterno, oppure la preparazione ed esecuzione motoria.

Esistono diversi ERP che riflettono processi e stadi di elaborazione dell'informazione diversi. Le componenti degli ERP vengono classificate secondo determinate caratteristiche (Luck, 2014):

- la polarità (cioè la collocazione rispetto all'isoelettrica, che può essere positiva o negativa);
- la latenza (l'intervallo temporale in millisecondi o msec dalla comparsa dello stimolo alla deflessione dell'onda);
- la distribuzione dell'ampiezza nelle diverse zone dello scapo.

Per rappresentare graficamente la distribuzione dei voltaggi sullo scalpo tramite EEG si utilizzano le mappe topografiche.

Le componenti ERP si possono distinguere in (Luck & Kappenman, 2012a; Luck & Kappenman, 2012b):

- Esogene/Precoci (latenza < 100 msec), che sottendono l'elaborazione primaria delle caratteristiche fisiche dello stimolo, cioè l'attività delle vie sensoriali; sono modalità-specifiche e hanno quindi una distribuzione sullo scalpo coerente con le cortecce sensoriali primarie (per es. visiva-occipitale, uditiva-temporale);
- Intermedie (latenza tra i 100 e i 250 msec), che sono anch'esse modalità-specifiche ma influenzate dai processi superiori (ad esempio l'attenzione). Fra queste, citiamo la N100 che corrisponde al processo attentivo di selezione precoce dell'informazione (Pratt, 2012) e la N200 che sottende la memoria sensoriale generata dalla discrepanza tra la traccia dello stimolo precedente e l'input di quello attuale (Pritchard, 1991);
- Endogene/Tardive (dalla durata maggiore di 250 msec), che sono modulate dall'interazione individuo-evento insieme ai processi cognitivi che si sviluppano. Per esempio la P300 è

^[1] La baseline può variare in base al paradigma e all'ERP di interesse, solitamente è compresa in un range fra -500 msec e -100 msec prima della comparsa dello stimolo di interesse.

elicitata da stimoli rilevanti, nuovi, rari, e corrisponde quindi all'aggiornamento della memoria di lavoro, all'impiego di risorse attentive e ai processi di categorizzazione dello stimolo, perciò la sua ampiezza aumenta all'aumentare della probabilità della comparsa di uno stimolo (Polich, 2012). La N400 è più ampia in caso di incongruenza semantica (Kutas and Hillyard, 1980).

Una tipologia di ERP che si sviluppa nell'arco di 300 millisecondi o diversi secondi sono i potenziali corticali lenti (Birbaumer et al., 1990), cioè variazioni di potenziale precedenti o concomitanti un'attività psicomotoria di preparazione o esecuzione di un atto motorio volontario, oppure successive ad uno stimolo saliente di cui ne riflettono l'elaborazione prolungata. Essendo un'attività lenta e sostenuta, la negatività è generalmente associata a processi di facilitazione corticale, mentre la positività all'interruzione dell'eccitabilità corticale.

Alcuni esempi di potenziali corticali lenti rilevanti per lo studio (citato nell'Abstract e che verrà approfondito nel Metodo) sono:

- il Potenziale di Prontezza (Readiness Potential o RP) il quale è una variazione negativa lenta che si presenta a partire da circa 1200 msec prima di un movimento volontario. Prima è bilaterale e simmetrica nell'encefalo, poi a 500 msec prima del movimento eseguito ad esempio da un arto, c'è una negatività controlaterale che corrisponde alla preparazione motoria a compiere quel determinato movimento (infatti le principali aree che si attivano sono la corteccia motoria primaria e la corteccia motoria supplementare o SMA) (Kornhuber and Deecke, 1965; Vaughan et al., 1968).
- la Variazione Contingente Negativa (Contingent Negative Variation o CNV) consiste nella lenta variazione negativa di aspettativa che si verifica tra uno stimolo di avvertimento (S1) e uno imperativo (S2), il quale solitamente corrisponde a un comando motorio (nel caso del nostro studio il dover cliccare i tasti del computer) (Walter et al., 1964); l'intervallo tra S1 ed S2 è stato oggetto di diverse interpretazioni relative alla preparazione alla risposta motoria, come l'anticipazione dello stimolo (Walter et al., 1964), l'aspettativa temporale (Macar e

Vidal, 2003), la motivazione (Irwin et al., 1966) e processi attentivi e arousal (Tecce e Scheff, 1969).

2) Percezione del tempo implicito ed esplicito

La nostra vita è determinata dallo scorrere del tempo, il nostro stesso comportamento è modellato dal tempo (Perret-Clermont, 2005; Strathman & Joireman, 2005), da una prospettiva sia del passato che del futuro (Caruso, Gilbert, & Wilson, 2008; Zimbardo & Boyd, 1999), per questo alcuni ricercatori si sono soffermati sul chiedersi come percepiamo il fluire del tempo, sin da William James (“Principles of Psychology”, 1890).

La percezione del tempo è un ambito di ricerca difficile da studiare poiché non ha di per sé un organo o un’area specifica del cervello che sembra svolgere questa funzione per noi esseri viventi e per questo sono stati sviluppati diversi modelli che tentano di spiegare i meccanismi di questo processo.

Il primo modello che è stato preso in considerazione è stato quello che presumeva l’esistenza di un processo centralizzato, un orologio interno che ci fornisce una rappresentazione del tempo (Gibbon et al., 1984; Treisman, 1963). Questo era visto come un pacemaker, i cui impulsi venivano trasmessi a un acceleratore (o contatore) a esso collegato (Creelman, 1962; Rammsayer & Ulrich, 2001; Treisman, 1963). All’aumentare degli impulsi, basati sulla percezione degli stimoli nell’ambiente esterno e la misura standard interna del tempo (Allan e Kristofferson, 1974), il tempo era percepito come più lungo. Questo è stato messo in relazione con l’oscillazione secondo la frequenza della banda Alpha: più queste sono veloci, più la durata temporale percepita è lunga, più sono lente, più la durata e. percepita breve (Treisman, 1994). Per enfatizzare anche il ruolo della memoria e del processo decisionale all’interno del modello, è nata la versione della teoria dell’aspettativa scalare (Scalar Expectancy Theory o SET; Gibbon, 1977, 1991, 1992; Wearden, 2003), la quale prende in considerazione due variabili: la rappresentazione media del tempo per una serie di giudizi temporali e la variabilità dei giudizi (deviazione standard), la quale aumenta linearmente con l’altra (Lewis &

Miall, 2009). Essendo questa proporzione costante, si dice che è scalare per la legge di Weber (Killeen & Weiss, 1987).

Altri autori invece hanno evidenziato l'importanza dell'attenzione nei processi di percezione del tempo (Brown, 2008), anche come agente causale della durata percepita di uno stimolo in un compito temporale (Grondin, 2010). Questa variabile è confluita nell'integrazione di uno *switch* o cancello attenzionale tra il pacemaker e l'accumulatore, secondo l'Attentional-Gate Model (AGM, Zakay & Block, 1996, 1997), che permette di allocare l'attenzione al tempo quando è aperto, e quando si chiude trasferisce le informazioni appena raccolte all'accumulatore e quindi alla memoria di lavoro. Infatti, in una situazione di doppio compito, la capacità di percezione del tempo diminuisce a causa dell'interferenza (Brown, 1997, 2008; Brown & Merchant, 2007; Field & Groeger, 2004; Zakay, 1998) così come diminuisce anche nel caso della riproduzione di una durata che si sa essere interrotta da un intervallo, a causa dell'attenzione allocata all'attesa di questa rottura (Fortin, 2009).

Un'altra variabile che interviene in questo processo è il livello di arousal della persona, cioè il suo stato di eccitazione dovuto alla valenza emozionale (positiva o negativa) degli stimoli (Angrilli et al., 1997) influenza la percezione del tempo, rendendo una durata percepita più lunga (in caso di valenza positiva e arousal elevato) o più breve (in caso di valenza negativa con elevato livello di arousal).

D'altro canto, esiste un'altra prospettiva che più che un processo di pacemaker-contatore vede la percezione del tempo come un processo oscillatore, il quale è più distribuito, dinamico e non lineare (Large, 2008; Schönér, 2002). I modelli di oscillatori tengono conto delle regolarità fisiche presenti nel flusso dell'ambiente esterno, che vengono utilizzate per prevedere la durata di eventi futuri (Jones e Boltz, 1989) e instaurano nella persona una partecipazione agli eventi orientata al futuro, secondo la Dynamic Attending Theory (DAT). La DAT è stata poi suddivisa in due componenti la cui somma fornisce un ritmo attentivo: un oscillatore non lineare e un ritmo di impulso di energia attentiva (Large & Jones, 1999). L'oscillatore si adatta quindi al contesto tramite la sincronizzazione degli impulsi attentivi fino ad allinearsi con l'esordio degli stimoli attesi, questo viene definito "entrainment model".

Da un punto di vista neuroanatomico, non c'è un'unica struttura che sottende la percezione del tempo, ma ne sono state individuate diverse tramite le tecniche di neuroimaging: la corteccia prefrontale (PFC), la corteccia parietale, i gangli della base, il cervelletto, l'ippocampo e l'area motoria supplementare (SMA) (Grondin, 2010).

Se la percezione del tempo è correlata con la produzione del tempo (Ivry & Hazeltine, 1995; Keele et al., 1985; McAuley et al., 2006) e il cervelletto è atto alla produzione di movimenti fini, ci sono buone ragioni per credere che il cervelletto sia coinvolto nell'elaborazione di intervalli molto brevi, data la sua maggiore attivazione per la discriminazione di intervalli di 600 msec piuttosto che di 3 secondi (Lewis & Miall, 2003) e anche di produzione di intervalli minori di 1.2 secondi (Bueti et al., 2008).

Diverse aree della corteccia cerebrale sono coinvolte nei processi di percezione del tempo, tra cui le cortecce frontali, in particolare la PFC dorsolaterale nell'elaborazione di intervalli brevi (1 secondo) (Pouthas et al., 2005; Tregellas et al., 2006), o della PFC destra (Penney & Vaitilingam, 2008). Anche la corteccia parietale sembra essere deputata all'elaborazione degli intervalli temporali, così com'è stato dimostrato dagli studi con stimolazione magnetica transcranica o TMS (Alexander et al., 2005) e rTMS (TMS ripetitiva). In particolare, la rTMS è stata usata per gli intervalli contrassegnati da segnali uditivi o visivi (Bueti et al., 2008), figurando quindi la funzione della corteccia parietale come interfaccia con i processi sensoriali ma anche motori; oppure la tecnica è stata usata in riferimento a intervalli più lunghi (Koch et al., 2003).

Il ruolo della SMA nei processi di percezione temporale è piuttosto recente, ma sembra essere stato identificato per quegli intervalli più brevi (Ferrandez et al., 2003; Tregellas et al., 2006) o più lunghi di 1 secondo e nelle attività di conteggio (Jahanshahi et al., 2006; Kudo et al., 2004; Rao et al., 2001; A. Smith, Taylor, Lidzba, & Rubia, 2003; Penney & Vaitilingam, 2008, Hinton et al. 2004). SMA è un'area che integra le informazioni multisensoriali per programmare le azioni, e per fare questo necessita un coinvolgimento nei processi di percezione temporale (Coull et al., 2015).

Sembrano infine coinvolte nel processo di codifica degli intervalli di tempo alcune strutture sottocorticali, tra cui i gangli della base (Harrington & Haaland, 1999), principalmente il nucleo caudato e il putamen. Secondo la visione dell'orologio centrale sembrano coinvolti diversi circuiti neurali, tra cui quello frontale-striatale (Striatal Beat-Frequency o SBF; Matell & Meck, 2004; Meck & Benson, 2002; Matell, Meck, & Nicolelis, 2003), la cui attività delle cellule inizia a sincronizzarsi con una sorta di esplosione di dopamina nel momento in cui ci troviamo a compiere un'attività di cronometraggio del tempo, e si interrompe quando la substantia nigra invia un messaggio allo striato (Rammsayer, 2008). Questo sembrerebbe confermare gli studi che legano il circuito dopaminergico alla percezione del tempo (Meck, 1996).

Esistono diverse metodologie sperimentali per studiare sugli umani la percezione temporale, ma prima è necessario fare una distinzione tra tempo implicito ed esplicito (Coull & Nobre, 2008; Herbst al., 2022):

- per **tempo Implicito** si intendono tutti quei processi indiretti che consentono di estrarre contingenze temporali tra gli stimoli presenti nell'ambiente, interno o esterno, e utilizzarle arbitrariamente di conseguenza per avere un'aspettativa temporale e prevedere la durata di eventi futuri facilitando il nostro comportamento;
- per **tempo Esplicito** si intendono quei processi diretti di stima deliberata di una durata temporale e di confronto con standard precedentemente memorizzati.

Di conseguenza, quando vengono proposti dei compiti per studiare questi due processi, c'è una distinzione nelle istruzioni date al partecipante: nel primo caso non gli viene detto che avrebbero dovuto estrarre contingenze temporali regolari dagli stimoli sensoriali a loro proposti, ma solo il fatto di dover dare una risposta motoria sulla base del loro giudizio percettivo, il quale crea delle aspettative temporali che possono essere di tipo esogeno (subconscie e non intenzionali) o endogeno (conscie e deliberate); nel secondo caso vengono date delle istruzioni precise sul dover fornire una stima esplicita della durata, solitamente di uno stimolo o di un intervallo tra due stimoli, oppure un

confronto tra due durate, ad esempio come decidere quale è più breve o più lunga (Coull & Nobre, 2008).

Un compito classico utilizzato per studiare il tempo implicito è il compito di *foreperiod*, il quale si basa sull'omonimo effetto che consiste nell'impatto che ha la durata dell'intervallo tra uno stimolo di avvertimento e uno stimolo target: più è lungo, più aumenta la preparazione alla risposta motoria e quindi l'aspettativa verso lo stimolo target, di conseguenza diminuisce il tempo di reazione (Capizzi et al., 2022). Nel Metodo viene illustrato lo stesso compito dello studio di Capizzi, Visalli, Faralli e Mioni del 2022 ma con una modifica per quanto concerne il tasto di risposta allo stimolo, che passa da uno (la barra spaziatrice) a due (i tasti "S" e "L" contrassegnati dai simboli di una stella e di un rombo).

Invece, per quanto riguarda i compiti per studiare il tempo esplicito ci sono diversi metodi per verificare l'attenzione del partecipante alla durata dello stimolo: un compito classico è quello di bisezione, che prevede una fase di memorizzazione di due durate standard, una breve e una lunga, seguita da una fase di confronto di una terza durata target con gli standard e una fase decisionale dello standard più simile con conseguente risposta motoria. Inizialmente questo tipo di procedura venne attuato in maniera simile addestrando dei ratti (Church & Deluty, 1977) e successivamente si iniziarono a testare gli umani (Gibbon, 1991; Wearden, 1991), fino ad arrivare al paradigma odierno (Capizzi et al., 2022).

Data questa distinzione, ci si aspetta che anatomicamente parlando il tempo implicito e quello esplicito abbiano basi neurali diverse, infatti Coull & Nobre (2008) evidenziano gli studi fatti tramite fMRI (Risonanza magnetica funzionale), in cui durante compiti di tempo esplicito, avviene l'attivazione della porzione anteriore della SMA (pre-SMA), la corteccia frontale inferiore destra, il cervelletto e i gangli della base; in particolare questi ultimi hanno un ruolo rilevante nella codifica iniziale del tempo, in cui i soggetti producono una propria rappresentazione interna del tempo, e si co-attivano con le altre strutture in maniera contesto-dipendente.

Per quanto riguarda il tempo implicito (o di “aspettativa temporale”) si attivano circuiti corticali che includono la corteccia premotoria sinistra e la parietale inferiore, con evidente ruolo nell’ottimizzazione del comportamento potenziale (Coull & Nobre, 2008). Si può dire quindi che l’aspettativa temporale modula l’attività motoria indotta, secondo la così detta “funzione di rischio”, cioè la probabilità condizionata che l’evento si verifichi dato che non si è ancora verificato (Ghose e Maunsell, 2002), dando luogo all’effetto *foreperiod*: più aumenta l’aspettativa temporale e quindi la preparazione motoria e più aumenteranno i tempi di reazione (Tregellas et al., 2006; Coull et al., 2004).

3) ERP e tempo implicito ed esplicito

La percezione del tempo implicita ed esplicita è stata studiata a lungo anche con tecniche di EEG (di recente da Capizzi, Visalli, Faralli e Mioni del 2022). Potenziali corticali lenti (Mento et al., 2013), in particolare la CNV, sembrano riflettere processi di elaborazione temporale sia per compiti di tempo esplicito (Macar & Vidal, 2003, 2004; Pfeuty, Ragot & Pouthas, 2003b) come il compito di bisezione, in cui sembra attivarsi SMA, sia per compiti di tempo implicito (Praamstra et al., 2006) come il *foreperiod*.

Solo di recente si è rilevato che le basi neurali della percezione del tempo fossero diverse in base al compito (task-dipendenti): inizialmente alcuni autori pensavano alla CNV come elicitata dall’attività della SMA (Meck et al., 2008; Coull et al., 2011; Casini & Vidal, 2011), altri invece dalle cortecce premotorie laterali (Praamstra et al. 2006), corteccia parietale posteriore (Leon & Shadlen, 2003) o insula posteriore (Wittman et al., 2010). Ciò che caratterizza la pre-SMA però, è che la sua attività è caratterizzata dalla difficoltà del compito (Livesey et al., 2007). Invece ora si pensa più a una distinzione tra CNV esplicita e CNV implicita, in cui: nella prima si verifica prevalentemente l’attività di SMA (Macar & Vidal, 2003, 2004; Pfeuty, Ragot & Pouthas, 2003b) con il coinvolgimento della via dopaminergica striato-frontale (Coull, Cheng & Meck, 2011, Gibbon et al., 1984; Macar & Vidal,

2009); nella seconda emerge la corteccia premotoria (Kononowicz & van Rijn, 2011) per il suo ruolo di anticipazione dell'azione.

Non è certo che la CNV non possa essere influenzata da altri processi o dall'attività di altre aree, essendo un ERP sensibile alla predittività degli stimoli (Mento, 2013; Del Popolo Cristaldi et al., 2021), però si ipotizza che possa riflettere i processi del modello pacemaker-accumulatore fungendo da marcatore dello scorrere del tempo immagazzinando gli impulsi esterni (Macar & Vidal, 2003, 2004; Pouthas & Macar, 2005; Pfeuty, Ragot, & Pouthas, 2003a, 2005; Monfort & Pouthas, 2003); oppure che possa essere legata più ai processi oscillatori di sincronizzazione dell'attività dei neuroni post-sinaptici durante il cronometrando di un intervallo, come nel modello di Mattel e Meck (2004) del SBF. Secondo un'ultima interpretazione invece, la CNV potrebbe sottendere la prontezza e la preparazione dell'elaborazione di un evento (Forstmann et al., 2008; Ng et al., 2011), cioè la sua anticipazione.

Alla luce di queste interpretazioni, il presente studio si è proposto di indagare, sulla scia dello studio di Capizzi, Visalli, Faralli e Mioni del 2022 ("Explicit and implicit timing in older adults: Dissociable associations with age and cognitive decline"), quali circuiti neurali sono implicati, e quali ERP si evidenziano compiendo una registrazione EEG su un campione di giovani, durante i compiti di bisezione e *foreperiod*.

Capitolo 2

METODO

Lo studio si proponeva di indagare la relazione tra percezione di tempo implicito ed esplicito dei partecipanti tramite la registrazione dell'attività elettrica cerebrale con l'Elettroencefalografia (EEG) e il concomitante svolgimento di compiti (Task) di percezione del tempo Implicito (compito di *foreperiod*) ed Esplicito (compito di bisezione). Inoltre veniva registrata l'attività cardiaca tramite l'Elettrocardiogramma (ECG) per ottenere l'indice fisiologico dell'Heart Rate Variability (HRV) durante un compito di Enterocezione, cioè di consapevolezza enterocettiva del battito cardiaco.

Questo compito è stato introdotto perché esiste una parte di letteratura in cui si indaga se le capacità enterocettive (sentire il ritmo del proprio HR) possono essere predittive di una buona percezione soggettiva del tempo (Garfinkel et al., 2015), ma i risultati relativi a questi dati non saranno oggetto della presente trattazione.

1) Soggetti

Prima di essere testati, i partecipanti hanno svolto un questionario online che ci permetteva di tener conto dei criteri di inclusione, infatti, dopo le domande di tipo anagrafico, demografico e di dominanza manuale (Edinburgh Handedness Inventory (EHI) - Oldfield, 1971), sono stati selezionati solo partecipanti maggiorenni, sulla base dell'assenza di patologie cardiache, dermatologiche (nelle regioni della testa o del collo), disturbi neurologici, assunzione di psicofarmaci (in presenza di malattie psichiatriche), sostanze stupefacenti e/o alcool quotidianamente. Successivamente, venivano proposti una serie di questionari:

- il Body Perception Questionnaire (Short Form o modulo breve (BPQ-SF); Cerritelli et al., 2021), composto da 22 item che valutavano le esperienze soggettive di consapevolezza del proprio corpo e di reattività allo stress degli organi innervati dal sistema nervoso autonomo;
- il Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI; Curcio et al., 2013), composto da 19 item, che valutava la qualità del sonno percepita;
- la Depression Anxiety Stress Scales-21 (DASS-21; Bottesi et al., 2015), composta da 3 scale e 22 item, che valutava la presenza di alcuni sintomi più usuali di depressione, ansia e stress;
- il Morningness-Eveningness Questionnaire (nella versione auto-somministrata, MEQ-SA; Horne & Ostberg, 1976; Terman et al., 2010), composto da 19 item che indagano le abitudini quotidiane per identificare il cronotipo del partecipante (“mattutino” o “serotino”);
- la Barratt Impulsiveness Scale (BIS-11; Patton et al., 1995), con 30 item che valutano il comportamento impulsivo.

Hanno partecipato allo studio 45 soggetti tra i 18 e i 35 anni.

In base ai criteri di esclusione sono stati scartati 4 soggetti perché pilota (e non naïve sul task), mentre 9 per problemi tecnici in fase di acquisizione di uno dei task (5 nell'Esplicito, 3 nell'Implicito e 1 nel Resting State). Solo i soggetti per cui l'acquisizione è stata portata a buon fine per entrambi i task Implicito ed Esplicito sono stati inclusi nelle analisi ($N = 32$, età $M = 24.4$ anni, $SD = 3.1$, range = 14). Dei 32 partecipanti inclusi nelle analisi, di cui 16 maschi e 16 femmine, 30 hanno anche completato tutti gli altri compiti inclusi nella procedura.

2) Compiti e stimoli

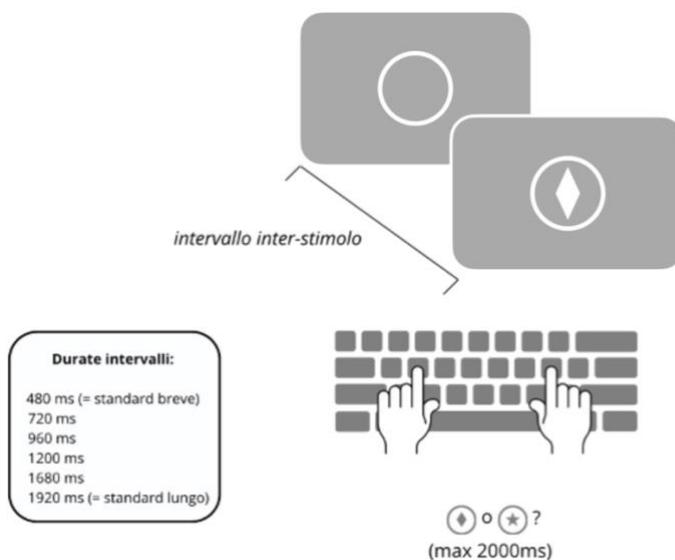
I compiti proposti ai soggetti erano molteplici e in questo ordine: Resting State, compito di Enterocezione, Task temporali (foreperiod ed compito di bisezione) e tre prove neuropsicologiche. Durante i primi due veniva registrato l'ECG, durante il primo e i Task temporali veniva registrato anche l'EEG; le ultime tre sono delle prove neuropsicologiche (STROOP, N-BACK, SART) che indagano rispettivamente: lo Stroop test (STROOP) nella versione modificata rispetto a quella del 1935, che indaga l'interferenza cognitiva e semantica, l'N-BACK (Conway et al., 2005; Kane & Engle, 2002), che valuta l'aggiornamento della memoria di lavoro, e il SART (Sustained Attention to Response Task, Robertson et al., 1997), un compito go-no go che testa la risposta all'attenzione sostenuta. L'ordine tra i Task temporali e le prove neuropsicologiche era diverso per ogni partecipante: i primi due venivano alternati tra loro e le ultime tre randomizzate ogni due soggetti. Si iniziava con una fase di rilassamento, il Resting State. Per tutta la durata di circa 5 minuti, il soggetto doveva stare seduto in maniera rilassata (senza incrociare braccia e gambe) davanti a una schermata grigia con una croce di fissazione bianca al suo centro.

In seguito, si procedeva con un compito di enterocezione, l'Heartbeat Tracking (Garfinkel et al., 2015; Shandry, 1981), nel quale veniva chiesto di "sentire" il proprio battito cardiaco senza utilizzare stratagemmi (come toccarsi il collo o il polso per percepire il battito), contarne i battiti e riportarli tramite la tastiera. Poi veniva chiesto il grado di accuratezza riguardo la propria risposta tramite una scala a 10 punti, che andava da "per niente sicuro" a "completamente sicuro". I battiti dovevano essere contati qualora comparisse un cerchio bianco al centro della schermata grigia e la risposta sul numero

dei battiti contati veniva richiesta per 6 trial, con finestre temporali di 25, 30, 35, 40, 45 e 50 s, presentate in ordine randomico.

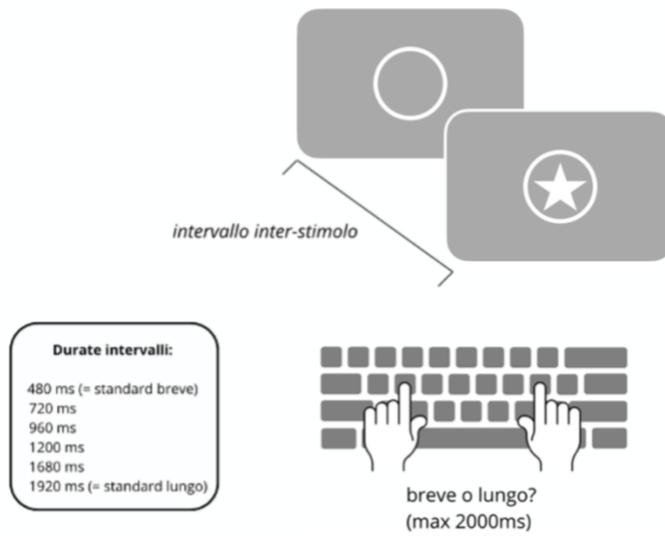
Successivamente si procedeva con i Task temporali.

Il Task Implicito, o *foreperiod*, consisteva nel dare una risposta motoria, cioè cliccare un determinato tasto della tastiera contrassegnato da una stella (“S”) o un rombo (“L”) il più velocemente possibile, qualora il soggetto vedesse comparire sullo schermo un cerchio bianco al cui interno poteva apparire rispettivamente la stella o il rombo. Questi stimoli venivano presentati al soggetto a circa 60 cm dallo schermo grigio del computer.



Il Task Esplicito, compito di bisezione temporale, consisteva invece nella categorizzazione della durata dell'Intervallo Interstimolo (Inter-Stimulus-Interval, ISI), cioè tra la comparsa del cerchio bianco al cui interno poteva comparire o una stella o un rombo, come “breve” o “lunga” basandosi su durate Standard precedentemente memorizzate. La sessione sperimentale cominciava infatti, con una fase di apprendimento in cui ai partecipanti veniva chiesto di memorizzare due durate standard presentate 10 volte ciascuna: Standard Breve (480 ms) e Standard Lungo (1920 ms). Nella fase di apprendimento, gli stimoli utilizzati per marcare il tempo erano dei cerchi grigi presentati al centro dello schermo (per 500 ms) al cui interno compariva una stella o un rombo. Dopo la fase di apprendimento ai partecipanti veniva chiesto di giudicare dei nuovi intervalli (480, 720, 960, 1200,

1440, 1680, o 1920 ms) e di decidere in ogni trial se questi fossero più vicine allo Standard Breve o allo Standard Lungo. Questa scelta veniva fatta cliccando il tasto “S” per indicare gli intervalli più simili allo Standard Breve, o “L” per quelli più simili allo Standard Lungo.



I Task temporali erano composti in totale da 8 blocchi (4 blocchi ciascuno), ognuno di 42 prove (6 ripetizioni per ogni intervallo temporale), preceduti sempre da una fase di pratica. Tra ogni blocco era presente una pausa facoltativa per riposarsi o per qualsiasi eventuale esigenza.

3) Apparato con cui è stato presentato lo studio (materiali)

Per la rilevazione dell’EEG è stata utilizzata una cuffia EEG collegata a un dispositivo NIC2 (Neuroelectrics Instrument Controller), un sistema wireless con una rete di sensori a 32 canali precabalata. La reference (online) degli elettrodi è stata collocata al lobo dell’orecchio destro. I voltaggi dello scalpo sono stati amplificati attraverso un amplificatore DC a 24-bit. La frequenza di campionamento era di 500 Hz. L’impedenza è stata mantenuta al di sotto di 10 k Ω per ciascun sensore. Per ridurre l’impedenza sullo scalpo è stata utilizzato un gel conduttivo EEG da inserire negli occhielli della cuffia (che poteva essere di taglia S o M in base alla circonferenza della testa, se minore o maggiore di 54 cm) tramite delle siringhe in plastica.

Invece per quanto riguarda la rilevazione dell’HR, è stata fatta tramite tre elettrodi collegati a dispositivo BioSignalPlux, il cui tracciato ECG veniva rilevato tramite il software Biolink.

Per la presentazione degli stimoli è stato utilizzato un computer 13.3" collegato a un PC fisso, in cui era installato il programma Psi per avviare la procedura comportamentale.

Per tenere conto degli indici fisiologici relativi all'EEG e all'ECG invece, sono stati utilizzati 2 PC Lenovo con i rispettivi software installati NIC2 e Biolink

Per la dermoabrasione prima dell'ECG, venivano utilizzati cottonfioc e pasta NuPrep, e al sensore per lo strumento venivano attaccati 3 elettrodi autoadesivi pregellati in argento/cloruro d'argento (Ag/AgCl).

4) Procedura seguita

Come prima cosa, prima di arrivare in laboratorio si chiedeva al soggetto di compilare il questionario con le domande di tipo anagrafico e demografico e quelle per i criteri di inclusione, insieme ai questionari. Una volta arrivati in laboratorio, veniva fatto firmare al partecipante il consenso informato e gli venivano illustrate le prove che avrebbe svolto.

Il partecipante veniva fatto accomodare su una sedia a circa 60 cm dallo schermo in una stanza scarsamente illuminata.

Prima di iniziare l'esperimento, avveniva il montaggio degli elettrodi collegati ai relativi dispositivi per la rilevazione dell'ECG e dell'ECG con preventiva dermoabrasione tramite pasta NuPrep e movimenti circolari sullo scalpo con la siringa per inserire il gel conduttore negli occhielli della cuffia EEG.

Una volta iniziata la fase di rilassamento, in cui veniva chiesto al soggetto di restare il più fermo possibile e cercare di non pensare a niente in particolare, si procedeva con la rilevazione dell'attività cerebrale e cardiaca a riposo detta Resting State, durante la quale compariva una croce di fissazione bianca su schermo grigio. Successivamente, iniziava il compito di Enterocezione, in cui veniva chiesto di contare i propri battiti cardiaci e inserire la risposta tramite mouse e tastiera e indicare il grado di sicurezza riguardo la propria risposta da "per niente sicuro" a "completamente sicuro".

Nel frattempo, veniva spiegato al partecipante il seguente compito da svolgere, che poteva essere prima l'Implicito e poi l'Esplicito o viceversa.

Dopo aver interrotto la registrazione dell'ECG, si avviava il protocollo comportamentale Task Implicito o Task Esplicito, si lasciava il tempo ai partecipanti di svolgere i compiti, che solitamente duravano tra i 12 e i 20 minuti. Ogni compito era sempre preceduto da una sessione di pratica per verificare che avessero compreso bene le istruzioni, e tra una prova e l'altra si modificavano gli adesivi per contrassegnare i tasti "S" e "L" con i rispettivi stimoli stella o rombo per il Task Implicito e le lettere "S" e "L" (che stanno per short e long in inglese) per le durate degli ISI nel Task Esplicito. La differenza stava nel fatto che nel Task Implicito il soggetto doveva premere il tasto il più velocemente possibile alla comparsa dello stimolo, e in quello Esplicito il simbolo che compariva (stella o rombo) era indifferente per il compito, e influiva sul tempo di reazione il processo decisionale se l'ISI fosse più simile allo Standard Breve o allo Standard Lungo.

Una volta completati i Task temporali, si spegneva il dispositivo NIC2, interrompendo la procedura di registrazione EEG.

Infine, si leggevano al partecipante le istruzioni tra ognuna delle tre prove neuropsicologiche (STROOP, N-BACK e SART) e si avviavano i rispettivi protocolli comportamentali. Ciascuno dei compiti durava intorno ai 7 minuti.

Nello Stroop Task si chiedeva di premere il pulsante contrassegnato da una freccia a sinistra ("S") o a destra ("K") per indicare se delle tre parole di colori che comparivano sullo schermo nero (quelle laterali bianche e quella al centro colorata), quale delle due ai lati indicassero il colore dell'inchiostro della parola al centro.

Nel compito N-BACK comparivano al centro dello schermo nero una serie di parole bianche una alla volta e si chiedeva di premere la barra spaziatrice ogni qualvolta comparisse la parola uguale a quella presentata tre volte prima.

Nel SART comparivano al centro dello schermo nero un numero bianco alla volta (da 1 a 9) e veniva chiesto di premere la barra spaziatrice alla comparsa di ogni numero, tranne quando si presentava il numero "3", in cui il soggetto doveva inibire la risposta.

Finito l'esperimento, si dava la possibilità al partecipante di lavarsi la testa dal gel nel lavabo del bagno e si procedeva con il lavaggio della cuffia utilizzata e dei sensori con acqua tiepida.

Capitolo 3

ANALISI DEI DATI

Per entrambi i compiti Implicito ed Esplicito, il segnale EEG è stato pre-processato tramite il toolbox MATLAB EEGLab (Delorme & Makeig, 2004) secondo i seguenti step:

- È stato eseguito un sottocampionamento a 250 Hz.
- È stata rimossa la corrente di rete (50 Hz) mediante notch-filter.
- È stato utilizzato un filtro passa-banda digitale (0,1-30 Hz).
- Sono stati rilevati i canali difettosi.
- Per calcolare gli ERP, l'EEG continuo è stato segmentato in epoche da -3000 ms prima a 3000 ms dopo l'esordio del target (S2) e sono stati utilizzati una baseline di -100 msec e intervalli diversi in base alle 7 durate.
- Le epoche sono state ispezionate digitalmente tramite il plug-in TBT EEGLAB, applicato a tutti gli elettrodi.
- Con l'algoritmo TBT è stato eseguito uno scarto automatico delle epoche e l'interpolazione dei canali con un approccio epoca-per-epoca: i canali che hanno superato una soglia dell'ampiezza di ± 100 mV in oltre il 15% di tutte le epoche sono stati esclusi e successivamente interpolati con il spherical spline interpolation method (Ferrée, 2006; Perrin et al., 1989).
- I dati sono stati quindi sottoposti a Independent component Analysis (ICA; Stone, 2002) utilizzando l'algoritmo Infomax (Bell & Sejnowski, 1995).
- Le risultanti componenti ICA sono state analizzate mediante ispezione visiva per scartare quelle relative a battito delle palpebre, ai movimenti oculari, al battito cardiaco e segnali muscolari, in base alla loro morfologia e distribuzione sullo scalpo.

- Infine è stata fatta la media individuale e degli ERP medi (Averaging) per entrambe le condizioni sperimentali (Implicito-Esplicito) applicando una media ponderata al fine di controllare eventuali sbilanciamenti numero di epoche per condizione (Kotowski, et al., 2019; Leski, 2002).

Un soggetto è stato scartato durante il pre-processing per tracciato eccessivamente rumoroso, dunque il campione finale è di 37 partecipanti.

L'analisi statistica degli ERP è stata eseguita con il software Brainstorm utilizzando le funzioni Fieldtrip (Oostenveld, Fries, Maris e Schoffelen, 2011; Tadel, Baillet, Mosher, Pantazis e Leahy, 2011). Per ciascuna durata, sono stati confrontati gli ERP del task esplicito con quelli del task implicito. I dati sono stati analizzati usando un approccio non-parametrico permutativo con correzione cluster-based e 5000 iterazioni, così come implementato in Brainstorm (Maris e Oostenveld, 2007).

a) RISULTATI EEG

In figura [1] sono rappresentati i topoplot dei compiti Implicito ed Esplicito ed è emersa una diagonale di negatività evidenziata in rosso, ma l'attività è abbastanza sovrapponibile.

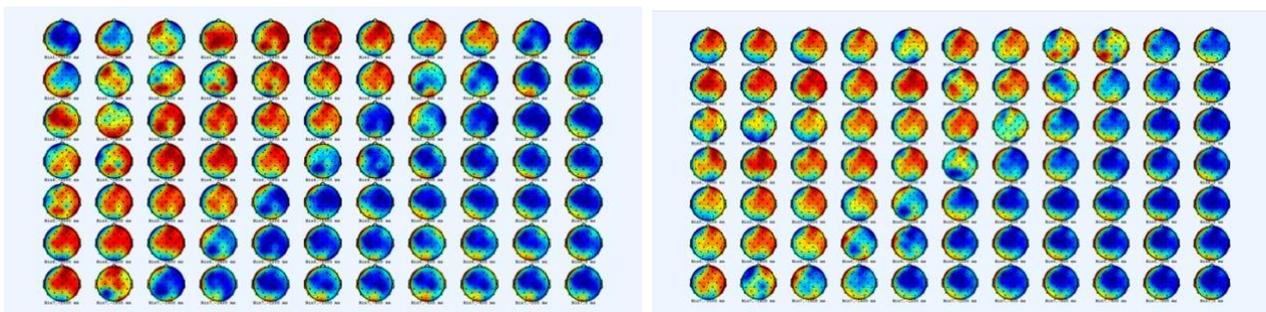


Figura 1: Topoplot Implicito vs Esplicito (a sinistra Implicito e a destra Esplicito). Ogni riga rappresenta una durata e ogni colonna rappresenta una latenza diversa (da 2000 msec prima alla comparsa del target, plottando la instantaneous amplitude per intervalli di 200 msec).

Rosso: Esplicito > Implicito

Blu: Esplicito < Implicito

Nella figura [2] evidenzia la CNV: ci sono deflessioni negative sostenute in entrambi i task che riflettono le durate degli ISI, cioè più l'attività è sostenuta e più è lungo l'ISI.

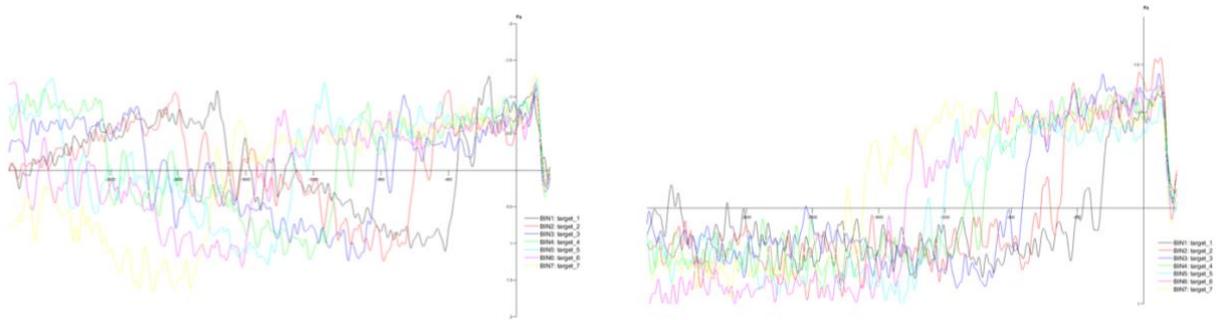
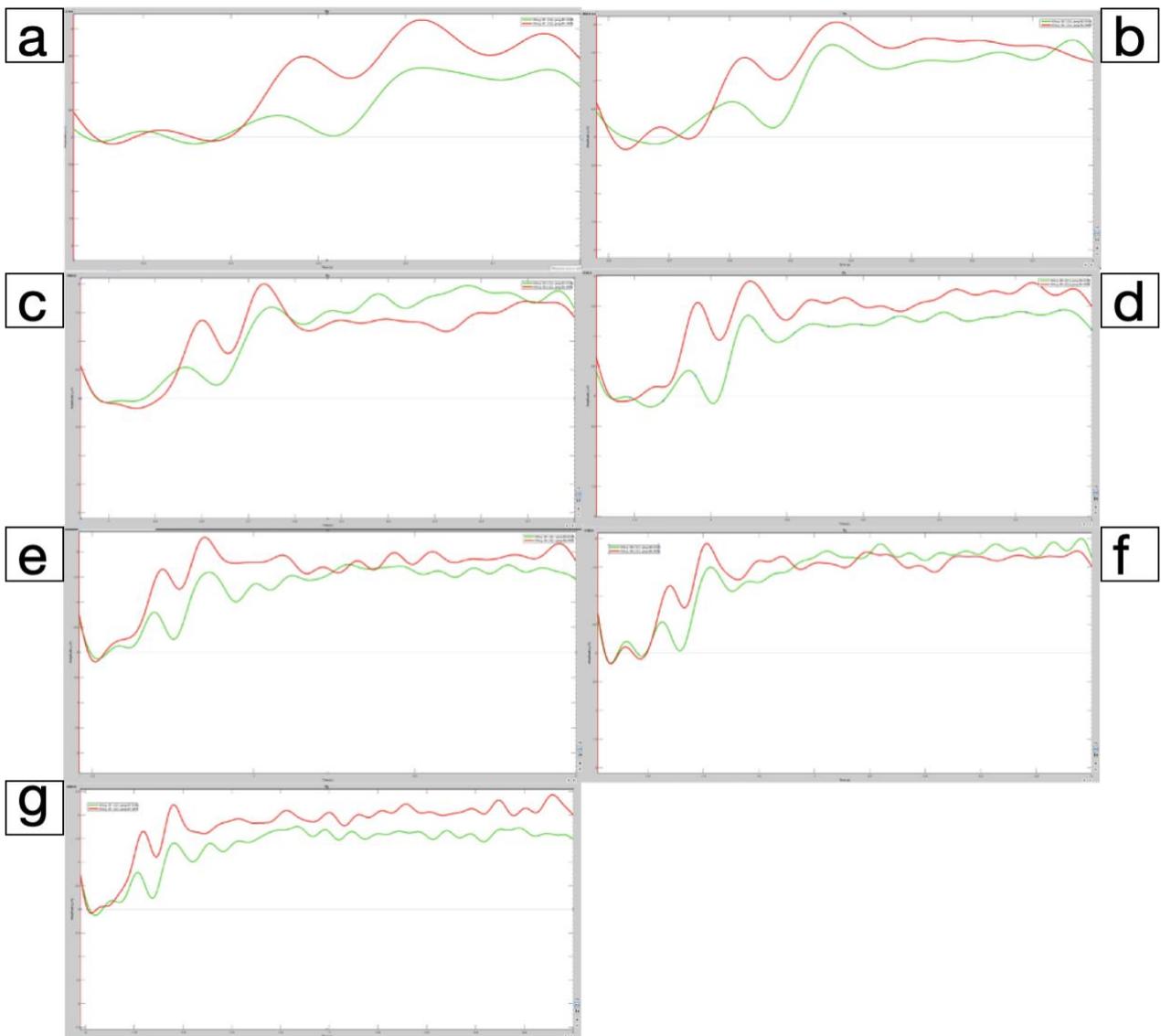


Figura 2: Grand Average da Fz (sensore in cui sono presenti più effetti: CNV frontale) Implicito a sinistra ed Esplicito a destra

d) RISULTATI ERP (CNV)

Nelle figure 3 (a, b, c, d, e, f, g) si evidenziano nei grafici la CNV Implicita ed Esplicita.



Nelle figure 3 (in ascisse = Ampiezza in mV e nelle ordinate = Tempo in secondi) sono rappresentate la CNV Implicita (in rosso) e la CNV Esplicita (in verde): il grafico è plottato verso il basso.

È stato usato un filtro passa-basso a 10 Hz per una visualizzazione migliore, per tutte e 7 le durate.

La CNV risulta significativamente più ampia, dunque più negativa, nella condizione Implicito rispetto all'Esplicito per le durate 1 (figura 3a, p-value = .002, c = 2215, s = 690), la 2 (figura 3b, p-value = .027, c = 1234, s = 431) e la 4 (figura 3d, p-value = .028, c = 1928, s = 561).

Nella durata 1 è la CNV è più ampia nell'Implicito rispetto all'Esplicito soprattutto in zone fronto-centrali. Questo effetto permane anche nella durata 2 (soprattutto a livello frontale), invece nella durata 3 non è stato rilevato quasi niente. Nella durata 4 ricompare la CNV sostenuta, mentre nella 5 sparisce e così rimane anche nella 6 e nella 7. Si noti che negli intervalli più brevi, si mobilitano più risorse anticipatorie per essere veloci nella risposta, e questo corrisponde a una CNV più evidente.

e) Analisi comportamentali

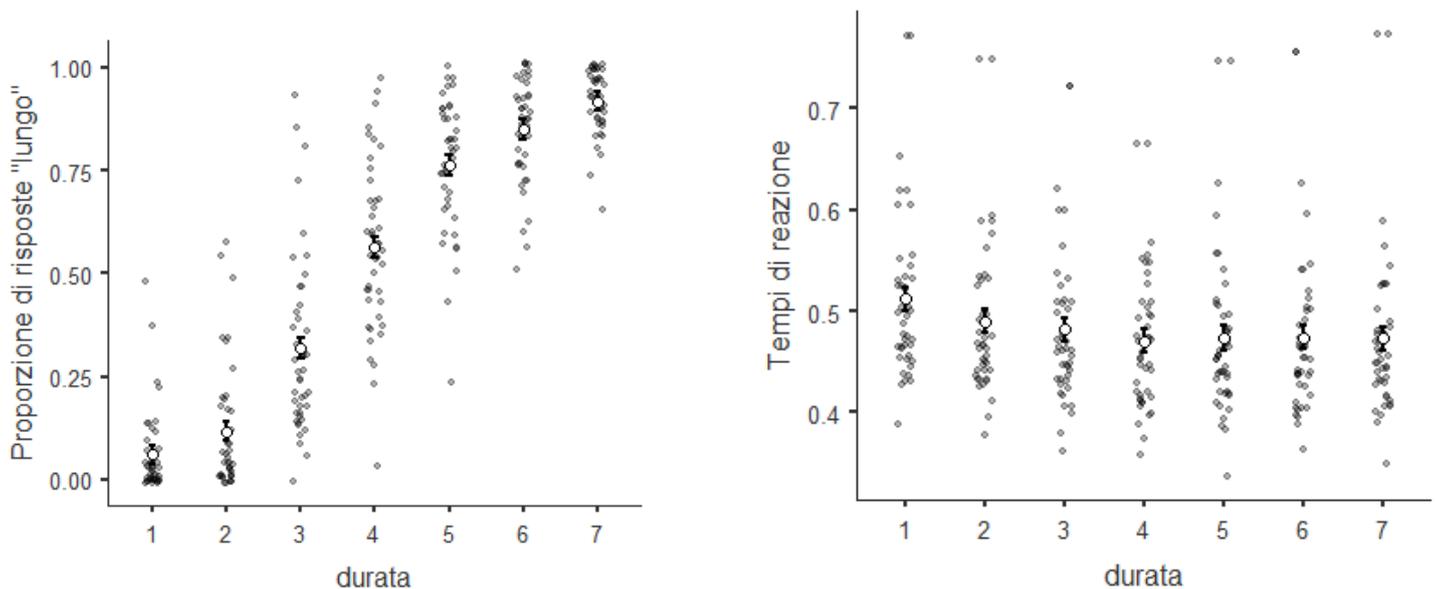


Figura 4: a sinistra i dati dell'Esplicito e a destra i dati dell'Implicito, ciascun pallino corrisponde a un partecipante (in ascissa le 7 durate dei task e nelle ordinate rispettivamente la proporzione di risposte "Lungo" e i tempi di reazione nel dare le risposte).

Dal grafico dell'Esplicito (Figura [4] a sinistra) emerge un effetto significativo della durata: all'aumentare della durata i partecipanti premono più volte il tasto L, aumenta quindi la proporzione di risposte "Lungo". Questo effetto prende forma in una curva psicometrica a S, la quale se si sposta in avanti (cioè a sinistra) si ha una sovrastima della durata, se indietro si ha una sottostima (cioè verso

destra). Il punto di bisezione (BP) è il punto critico per comprendere la percezione soggettiva del tempo, è quindi quel punto in cui si ha il 50% di probabilità che il partecipante risponda “breve” o “lungo”. Se la curva si inclina ma il BP di mezzo rimane fisso, non si parla più di percezione del tempo ma di funzioni cognitive impiegate nell’esecuzione del compito (ad esempio negli anziani queste funzioni vengono meno o declinano col tempo) (Capizzi, Correa in Vatakis et al., 2018).

Statistica F di Fisher dell’Esplicito: $F(6, 256) = 440, p < .001$

Anche nell’Implicito è presente un effetto significativo della durata: diminuiscono i Tempi di Reazione (TR) all’aumentare della durata.

Statistica F di Fisher dell’Implicito: $F(6, 258) = 21.1, p > .001$

Capitolo 4

DISCUSSIONE

Nello studio oggetto di questa trattazione, avendo i compiti di tempo Implicito ed Esplicito la stessa identica struttura (7 durate, stessi stimoli, stessi tasti di risposta), l’unica differenza che si è potuta confrontare, come evidenziato anche da Coull & Nobre (2008), sono state le istruzioni dei compiti: nel primo bisognava distinguere lo stimolo e dare la risposta il più velocemente possibile, nel secondo c’era in atto un processo decisionale sulla durata dell’ISI, quindi nell’intervallo di tempo tra il cue e il target (per una migliore spiegazione si guardi il Metodo). Come già accennato in precedenza, per rendere più semplice questo confronto, è stato leggermente modificata la modalità di risposta per il compito Implicito da un tasto di risposta (la barra spaziatrice), come nello studio di Capizzi e colleghi (2022), a due, cioè “S” (contrassegnato dalla stella) e “L” (contrassegnato dal rombo) nella tastiera, in modo da renderli uguali a quelli del compito di tempo Esplicito.

Dalle analisi comportamentali è emerso che l’aumentare della lunghezza della durata ha avuto un effetto sia sulla proporzione di risposte “L” (le quali aumentavano), che sui tempi di risposta (i quali diminuivano). Nel caso del compito Implicito si può quindi confermare la presenza dell’effetto foreperiod (Tregellas et al., 2006; Coull et al., 2004; Capizzi et al., 2022), cioè che più è lungo l’ISI

e più i partecipanti sono pronti a rispondere e dunque veloci. Quindi si dimostra anche che i partecipanti sono sensibili alla funzione di rischio (Ghose e Maunsell, 2002).

Nel caso dell'Esplicito si possono interpretare i dati come una dimostrazione del processo decisionale riguardo le durate più lunghe: probabilmente dopo la fase di memorizzazione si apprende lo standard lungo, il quale diventa una rappresentazione interna del tempo, implicando quindi anche una soglia oltre la quale si è certi che la durata sia etichettabile come "lunga" (Coull & Nobre, 2008), questa soglia è il punto di bisezione della curva a S (Capizzi, Correa in Vatakis et al., 2018).

Questo è uno spunto interessante poiché si potrebbe fare un confronto con un campione di anziani (uno studio già in corso) per verificare se questo effetto della durata ha un impatto minore sulla variabile "proporzione di risposte lunghe" e se la curva a S risulta inclinata (sulla scia dello studio di Capizzi et al., 2022).

Se dovessimo utilizzare il modello pacemaker-accumulatore (Macar & Vidal, 2003, 2004; Pouthas & Macar, 2005; Pfeuty, Ragot, & Pouthas, 2003a, 2005; Monfort & Pouthas, 2003) si potrebbe dire che l'accumulatore riceva più impulsi quando la durata è percepita come più breve, invece meno quando è percepita come più lunga.

Per quanto riguarda invece i risultati delle analisi dei dati EEG la maggiore espressione dell'attività la si trova nel canale Fz, e dagli ERP che sono stati estratti è stata messa in evidenza la CNV come riflesso dei processi di elaborazione temporale, così come ci si aspettava, sia per il compito Esplicito o di bisezione (Macar & Vidal, 2003, 2004; Pfeuty, Ragot & Pouthas, 2003b) che per il compito Implicito o *foreperiod* (Praagstra et al., 2006).

La CNV risulta più ampia durante il compito di *foreperiod* rispetto al compito di bisezione, e questo può essere ricondotto all'aspettativa temporale che si crea nell'ISI, cioè tra il cue (lo stimolo a cerchio) e il target (la stella o il rombo). In questo intervallo si evidenzia un picco di attività soprattutto nelle zone pre-centrali a destra, frontali e parietali, confermando il ruolo anticipatorio della corteccia premotoria (Kononowicz & van Rijn, 2011). Questo avviene perché nella CNV è implicato anche il Potenziale di Prontezza motoria, che dà un'ulteriore conferma del ruolo della SMA nella preparazione

al movimento (Kornhuber and Deecke, 1965; Vaughan et al., 1968), in questo caso anche nei processi temporali (Coull et al., 2015). Così come evidenziato da Coull & Nobre (2008), si conferma proprio come la pre-SMA e la corteccia frontale inferiore destra siano coinvolte nella percezione del tempo Esplicito e la corteccia premotoria nell'elaborazione temporale Implicita. Una possibile spiegazione di questi risultati può essere che nell'Esplicito vengono mobilitate meno risorse anticipatorie nonché attenzionali (Zakay & Block, 1996, 1997), poiché una volta individuata la risposta, lo switch attenzionale si chiude e non aumenta l'aspettativa verso la risposta motoria. Invece nell'Implicito viene richiesta espressamente una risposta motoria il più velocemente possibile, e di conseguenza l'aspettativa che si crea determina un picco di attività più negativo (figura 3).

Questo studio conferma gran parte della letteratura sulla percezione del tempo, con dimostrazione che la modifica apportata alla modalità di risposta nel task Implicito lo rendesse forse più difficile (per la discriminazione dello stimolo) ma in maniera ininfluenza per i fini dello studio, poiché lo ha reso più confrontabile con il task Esplicito da un punto di vista metodologico. Sarà sicuramente interessante fare un confronto con la popolazione più anziana, nella quale ci si aspetta una permanenza dell'*effetto foreperiod* ma una maggiore difficoltà nel compito di bisezione.

BIBLIOGRAFIA

Adrian, E. D., & Matthews, B. H. C. (1934). *The Berger rhythm: Potential changes from the occipital lobes in man. Brain, 57, 355–385.*

Alexander, I., Cowey, A., & Walsh, V. (2005). *The right parietal cortex and time perception: Back to Critchley and the Zeitraffer phenomenon. Cognitive Neuropsychology, 22, 306-315.*

Allan, L. G., & Kristofferson, A. B. (1974). *Psychophysical theories of duration discrimination. Perception & Psychophysics, 16, 26-34.*

Allison, T., Wood, C. C., & McCarthy, G. (1986). *The central nervous system.* In M., G., H., Coles, S., W., Porges e E., Donchin (Editors), *Psychophysiology: systems, processes, and applications* (pp. 5-25). New York: Guildford.

- American Encephalographic Society. (1994a). *Guidelines for standard electrode position nomenclature. Journal of Clinical Neurophysiology, 11*, 111–113.
- Angrilli, A., Cherubini, P., Pavese, A., & Mantredini, S. (1997). *The influence of affective factors on time perception. Perception & Psychophysics, 59*, 972-982.
- Bell, A. J., & Sejnowski, T. J. (1995). *An information-maximization approach to blind separation and blind deconvolution. Neural Computation, 7(6)*, 1129–1159.
- Berger, H. (1929). *Ueber das Elektrenkephalogramm des Menschen. Archives fur Psychiatrie Nervenkrankheiten, 87*, 527–570.
- Birbaumer, N., Elbert, T., Canavan, A. G., Rockstroh, B. (1990). *Slow potentials of the cerebral cortex and behavior; 70(1)*, 1-41. *Physiological Review*.
- Bottesi, G., Ghisi, M., Altoè, G., Conforti, E., Melli, G., & Sica, C. (2015). *The italian version of the Depression Anxiety Stress Scales-21: Factor structure and psychometric properties on community and clinical samples. Comprehensive Psychiatry, 60*, 170-181.
- Bouyer, J. J., Montaron, M. F., Vahnee, J. M., Albert, M. P., & Rougeul, A. (1987). *Anatomical localization of cortical beta rhythms in cat. Neuroscience, 22(3)*, 863-869.
- Brown, S. W., & Merchant, S. M. (2007). *Processing resources in timing and sequencing tasks. Perception & Psychophysics, 69(3)*, 439-449.
- Brown, S. W. (1997). *Attentional resources in timing: Interference effects in concurrent temporal and nontemporal working memory tasks. Perception & Psychophysics, 59*, 1118-1140.
- Brown, S. W. (2008). *Time and attention: review of the literature. Psychology of time, 4*.
- Bueti, D., Bahrami, B., & Walsh, V. (2008). *Sensory and associative cortex in time perception. Journal of Cognitive Neuroscience, 20*, 1054-1062.
- Bueti, D., Walsh, V., Frith, C., & Rees, G. (2008). *Different brain circuits underlie motor and perceptual representations of temporal intervals. Journal of Cognitive Neuroscience, 20*, 204-214.
- Buzsáki, G., Anastassiou, C. A., & Koch, C. (2012). *The origin of extracellular fields and currents—EEG, ECoG, LFP and spikes. Nature Reviews. Neuroscience, 13*, 407–420.

- Capizzi, M., Visalli, A., Faralli, A., & Mioni, G. (2022). *Explicit and implicit timing in older adults: Dissociable associations with age and cognitive decline*.
- Caruso, E. M., Gilbert, D. T., & Wilson, T. D. (2008). *A wrinkle in time: Asymmetric valuation of past and future events*. *Psychological Science*, *19*, 796-801.
- Casini, L., & Vidal, F. (2011). *The SMAs: Neural Substrate of the Temporal Accumulator? Frontiers in Integrative Neuroscience*, *5*, 35.
- Cerritelli, F., Galli, M., Consorti, G., D'Alessandro, G., Kolacz, J., Porges, S.W. (2021) *Cross-cultural adaptation and psychometric properties of the Italian version of the Body Perception Questionnaire*.
- Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). *Bisection of temporal intervals*. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, *3*(3), 216-228.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). *Working memory span tasks: a methodological review and user's guide*. *Psychonomic Bulletin & Review*, *12*(5), 769-786.
- Coull, J. T., & Nobre, A. C. (1998). *Where and when to pay attention: the neural systems for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI*. *Journal of Neuroscience*, *18*(18), 7426-7435.
- Coull, J. T., Vidal, F., Nazarian, B., & Macar, F. (2004). *Functional anatomy of the attentional modulation of time estimation*. *Science* (New York, N.Y.), *303*(5663), 1506–1508.
- Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2011). *Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing*. *Neuropsychopharmacology*, *36*, 3-25.
- Creelman, C. D. (1962). *Human discrimination of auditory duration*. *Journal of the Acoustical Society of America*, *34*, 582-593.
- Curcio, G., Tempesta, D., Scarlata, S., Marzano, C., Moroni, F., Rossini, P. M., Ferrara, M., & De Gennaro, L. (2013). *Validity of the italian version of the Pittsburgh Sleep Quality index (PSQI)*. *Neurological Sciences*, *34*(4), 511-519.

- Davis, P. A. (1939). *Effects of acoustic stimuli on the waking human brain. Journal of Neurophysiology*, 2, 494–499.
- Davis, H., Davis, P. A., Loomis, A. L., Harvey, E. N., & Hobart, G. (1939). *Electrical reactions of the human brain to auditory stimulation during sleep. Journal of Neurophysiology*, 2, 500–514.
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). *EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21.
- Del Popolo Cristaldi, F., Mento, G., Buodo, G., & Sarlo, M. (2021). *What's next? Neural correlates of emotional predictions: A high-density EEG investigation. Brain and Cognition*, 150, 105708.
- Ferrandez, A. M., Hugueville, L., Lehericy, S., Poline, J. B., Marsault, C., & Pouthas, V. (2003). *Basal ganglia and supplementary motor area subtend duration perception: An fMRI study. NeuroImage*, 19, 1532-1544.
- Field, D. T., & Groeger, J. A. (2004). *Temporal interval production and short-term memory. Perception & Psychophysics*, 66, 808-819.
- Forstmann, B. U., Dutilh, G., Brown, S., Neumann, J., Von Cramon, D. Y., Ridderinkhof, K. R., & Wagenmakers, E. J. (2008). *Striatum and pre-SMA facilitate decision-making under time pressure. Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(45), 17538-17542.
- Fortin, C., Fairhurst, S., Malapani, C., Morin, C., Towey, J., & Meck, W. H. (2009). *Expectancy in humans in multisecond peak- interval timing with gaps. Attention, Perception, & Psychophysics*, 71, 789-802.
- Fourier, J. B., (1822). *Théorie analytique de la chaleur*.
- Galambos, R., & Sheatz, G. C. (1962). *An electroencephalographic study of classical conditioning. American Journal of Physiology*, 203, 173–184.
- Garfinkel, S. N., Seth, A. K., Barrett, A. B., Suzuki, K., & Critchley, H. D. (2015). *Knowing your own heart: distinguishing interoceptive accuracy from interoceptive awareness. Biological Psychology*, 104, 65–74.

- Ghose, G. M., & Maunsell, J. H. (2002). *Attentional modulation in visual cortex depends on task timing*. *Nature*, 419(6907), 616–620.
- Gibbon, J. (1977). *Scalar Expectancy Theory and Weber's Law in Animal Timing*. *Psychological Review*, 84(3), 279-325.
- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). *Scalar timing in memory*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 52–77.
- Gibbon, J. (1991). *Origins of scalar timing*. *Learning & Motivation*, 22, 3-38.
- Gibbon, J. (1992). *Ubiquity of scalar timing with a Poisson clock*. *Journal of Mathematical Psychology*, 36, 283-293.
- Grondin S. (2010). *Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions*. *Attention, Perception & Psychophysics*,
- Harrington, D. L., & Haaland, K. Y. (1999). *Neural underpinnings of temporal processing: A review of focal lesion, pharmacological, and functional imaging research*. *Reviews in the Neurosciences*, 10, 91-116.
- Herbst, S. K., Obleser, J., & van Wassenhove, V. (2022). *Implicit Versus Explicit Timing-Separate or Shared Mechanisms?* *Journal of Cognitive Neuroscience*, 34(8), 1447–1466.
- Hinton, S. C., Harrington, D. L., Binder, J. R., Durgerian, S., & Rao, S. M. (2004). *Neural systems supporting timing and chronometric counting: An FMRI study*. *Cognitive Brain Research*, 21, 183-192.
- Hinton, S. C., & Rao, S. M. (2004). *“One-thousand one . . . one- thousand two . . .”*: Chronometric counting violates the scalar property in interval timing. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 24-30.
- Horne, J. A., & Ostberg, O. (1976). *A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms*. *International Journal of Chronobiology*, 4(2), 97-110.
- Irwin, D. A., Knott, J. R., McAdam, D. W., Rebert, C. S. (1966). *Motivational determinants of the “contingent negative variation”*.

- Ivry, R. B., & Hazeltine, R. E. (1995). *The perception and production of temporal intervals across a range of durations: Evidence for a common timing mechanism. Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 21*, 3-18.
- Jahanshahi, M., Jones, C. R. G., Dirnberger, G., & Frith, C. D. (2006). *The substantia nigra pars compacta and temporal processing. Journal of Neuroscience, 26*, 12266-12273.
- James, W., (1890). *Principles of Psychology*.
- Jasper, H. H., & Carmichael, L. (1935). *Electrical potentials from the intact human brain. Science, 81*, 51–53.
- Jasper, H. H. (1958). *The Ten-Twenty Electrode System of the International Federation. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 10*, 371-375.
- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). *Dynamic attending and responses to time. Psychological Review, 96(3)*, 459–491.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). *The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. Psychonomic Bulletin & Review, 9(4)*, 637–671.
- Keele, S. W., Pokorny, R. A., Corcos, D. M., & Ivry, R. (1985). *Do perception and motor production share common timing mechanisms: A correlational analysis. Acta Psychologica, 60*, 173-191.
- Killeen, P. R., & Weiss, N. A. (1987). *Optimal timing and the Weber function. Psychological Review, 94*, 455-468.
- Koch, G., Oliveri, M., Torriero, S., & Caltagirone, C. (2003). *Underestimation of time perception after repetitive transcranial magnetic stimulation. Neurology, 60*, 1844-1846.
- Kononowicz, T. W., & van Rijn, H. (2011). *Slow potentials in time estimation: The role of temporal accumulation and habituation. Frontiers in Integrative Neuroscience, 5*, Article 48.
- Kornhuber, H. H., & Deecke, L. (1965). *Hirnpotentialänderungen bei Willkurbewegungen und passiven Bewegungen des Menschen: Bereitschaftspotential und reafferente potentials. Pflugers Archiv, 284*, 1–17.

- Kotowski, K., Stapor, K., & Leski, J. (2019). *Improved robust weighted averaging for event-related potentials in EEG. Biocybernetics and Biomedical Engineering, 39(4)*, 1036–1046.
- Kudo, K., Miyazaki, M., Kimura, T., Yamanaka, K., Kadota, H., Hirashima, M., et al. (2004). *Selective activation and deactivation of the human brain structures between speeded and precisely timed tapping responses to identical visual stimulus: An fMRI study. Neuro-Image, 22*, 1291-1301.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). *Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. Science, 207*, 203–205.
- Large, E. W., & Jones, M. R. (1999). *The dynamics of attending: How we track time varying events. Psychological Review, 106*, 119-159.
- Large, E. W. (2008). *Resonating to musical rhythm: Theory and experiment. In S. Grondin (Ed.), Psychology of time (pp. 189-232).*
- Leon, M. I., & Shadlen, M. N. (2003). *Representation of time by neurons in the posterior parietal cortex of the macaque. Neuron, 38(2)*, 317–327.
- Leski, J. M. (2002). *Robust weighted averaging. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 49(8)*, 796–804.
- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003a). *Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: Evidence from neuroimaging. Current Opinion in Neurobiology, 13(2)*, 250–255.
- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003b). *Brain activation patterns during measurement of sub- and supra-second intervals. Neuropsychologia, 41(12)*, 1583–1592.
- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2009). *The precision of temporal judgment: Milliseconds, many minutes, and beyond. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 364*, 1897-1905.
- Livesey, A. C., Wall, M. B., & Smith, A. T. (2007). *Time perception: Manipulation of task difficulty dissociates clock functions from other cognitive demands. Neuropsychologia, 45*, 321-331.
- Luck, S. J., & Kappenman, E. S. (2012a). *ERP components and selective attention. In S. J. Luck & E. S. Kappenman (Eds.), The Oxford Handbook of ERP Components (pp. 295–327). New York: Oxford University Press.*

- Luck, S. J., & Kappenman, E. S. (Eds.). (2012b). *The Oxford Handbook of Event-Related Potential Components*. New York: Oxford University Press.
- Luck, S. J. (2014). *An introduction to the Event-Related Potential technique. II edition*.
- Macar, F., & Vidal, F. (2003). *The CNV peak: An index of decision making and temporal memory. Psychophysiology, 40(6), 950–954.*
- Macar, F., & Vidal, F. (2004). *Event-Related Potentials as Indices of Time Processing: A Review. Journal of Psychophysiology, 18(2-3), 89–104.*
- Macar, F., & Vidal, F. (2009). *Timing processes: An outline of behavioural and neural indices not systematically considered in timing models. Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue canadienne de psychologie expérimentale, 63(3), 227–239.*
- Matell, M. S., & Meck, W. H. (2004). *Cortico-striatal circuits and interval timing: Coincidence detection of oscillatory processes. Brain Research. Cognitive Brain Research, 21(2), 139–170.*
- Maris, E., Oostenveld, R., (2007). *Nonparametric statistical testing of EEG- and MEG-data, Journal of Neuroscience Methods, Volume 164, 1, 177-190,*
- Matell, M. S., Meck, W. H., & Nicolelis, M. A. (2003). *Interval timing and the encoding of signal duration by ensembles of cortical and striatal neurons. Behavioral Neuroscience, 117(4), 760–773.*
- McAuley, J. D., Jones, M. R., Holub, S., Johnston, H. M., & Miller, N. S. (2006). *The time of our lives: Life span development of timing and event tracking. Journal of Experimental Psychology: General, 135, 348-367.*
- Meck, W. H., & Benson, A. M. (2002). *Dissecting the brain's internal clock: How frontal-striatal circuitry keeps time and shifts attention. Brain & Cognition, 48, 195-211.*
- Meck, W. H., Penney, T.B., Pouthas, V. (2008). *Cortico-striatal representation of time in animals and humans, Current Opinion in Neurobiology, volume 18, issue 2, 145-152.*
- Meck, W. H. (1996). *Neuropharmacology of timing and time perception 3(3-4), 227-42.*
- Mento, G., Tarantino, V., Sarlo, M., & Bisiacchi, P. S. (2013). *Automatic temporal expectancy: A high-density event-related potential study. PloS One, 8(5), e62896.*

- Mento G. (2013). *The passive CNV: Carving out the contribution of task-related processes to expectancy*. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 827.
- Miltner, W. H., Braun, C., Arnold, M., Witte, H., & Taub, E. (1999). *Coherence of gamma-band EEG activity as a basis for associative learning*. *Nature*, 397(6718), 434–436.
- Monfort, V., & Pouthas, V. (2003). *Effects of working memory demands on frontal slow waves in time-interval reproduction tasks in humans*. *Neuroscience Letters*, 343, 195-199.
- Ng, K. K., Tobin, S., & Penney, T. B. (2011). *Temporal accumulation and decision processes in the duration bisection task revealed by contingent negative variation*. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5, 77.
- Niedermeyer, E. (1993). Historical aspects (pp. 1-14). In Niedermeyer, E., & Lopes da Silva, F. (Editors), *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields* (3rd edition).
- Oldfield, R. C., (1971). *The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory*.
- Patton, J. H., Stanford, M. S., & Barratt, E. S. (1995). *Factor structure of the Barratt impulsiveness scale*. *Journal of Clinical Psychology*, 51(6), 768–774.
- Oostenveld, R., Fries, P., Maris, E., & Schoffelen, J. M. (2011). *FieldTrip: Open source software for advanced analysis of MEG, EEG, and invasive electrophysiological data*. *Computational intelligence and neuroscience*, 2011, 1-9.
- Penney, T. B., & Vaitilingam, L. (2008). *Imaging time*. In S. Grondin (Ed.), *Psychology of time* (pp. 261-294).
- Perret-Clermont, A.-N. (ed.) (2005). *Thinking time*.
- Pfeuty, M., Ragot, R., & Pouthas, V. (2003a). *Processes involved, in tempo perception: A CNV analysis*. *Psychophysiology*, 40, 69-76.
- Pfeuty, M., Ragot, R., & Pouthas, V. (2003b). *When time is up: CNV time course differentiates the roles of the hemispheres in the discrimination of short tone durations*. *Experimental Brain Research*, 151, 372-379.

- Pfeuty, M., Ragot, R., & Pouthas, V. (2005). *Relationship between CNV and timing of an upcoming event. Neuroscience Letters, 382(1-2)*, 106–111.
- Pfurtscheller G. (1977). *Graphical display and statistical evaluation of event-related desynchronization (ERD). Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 43(5)*, 757–760.
- Pfurtscheller, G., & Aranibar, A. (1977). *Event-related cortical desynchronization detected by power measurements of scalp EEG. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 42(6)*, 817–826.
- Polich, J. (2012). *Neuropsychology of P300*. In S. J. Luck & E. S. Kappenman (Eds.), *The Oxford handbook of event-related potential components* (pp. 159–188). Oxford University Press.
- Pouthas, V., & Macar, F. (2005). *Les bases neurales de la perception du temps et de la régulation temporelle de l'action [Neural bases of time perception and motor timing]. Psychologie Française, 50(1)*, 27–45.
- Pouthas, V., George, N., Poline, J.-B., Pfeuty, M., Vandemoortele, P.-F., Hugueville, L., et al. (2005). *Neural network involved in time perception: An fMRI study comparing long and short interval estimation. Human Brain Mapping, 25*, 433-441.
- Praamstra, P., Kourtis, D., Kwok, H. F., Oostenveld, R. (2006). *Neurophysiology of Implicit Timing in Serial Choice Reaction-Time Performance. J Neurosci 2006, 26:5448-5455*.
- Pratt, H. (2012). *Sensory ERP components*. In S. J. Luck & E. S. Kappenman (Eds.), *The Oxford Handbook of ERP Components* (pp. 89–114). New York: Oxford University Press.
- Pritchard, W. S., Shappell, S. A., & Brandt, M. E. (1991). *Psychophysiology of N200/N400: A review and classification scheme*. In J. R. Jennings & P. K. Ackles (Eds.), *Advances in Psychophysiology* (pp. 43–106). London: Jessica Kingsley.
- Rammsayer, T. H. (2008). *Neuropharmacological approaches to human timing*. In S. Grondin (Ed.), *Psychology of time* (pp. 295-320).
- Rammsayer, T. [H.], & Ulrich, R. (2001). *Counting models of temporal discrimination. Psychonomic Bulletin & Review, 8*, 270-277.

- Rao, S. M., Mayer, A. R., & Harrington, D. L. (2001). *The evolution of brain activation during temporal processing. Nature Neuroscience, 4*, 317-323.
- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). *Sustained Attention to Response Task (SART)*.
- Schacter D. L. (1977). *EEG theta waves and psychological phenomena: A review and analysis. Biological Psychology, 5(1)*, 47–82.
- Shandry, R., (1981). *Heart Beat Perception and Emotional Experience*.
- Schöner, G. (2002). *Timing, clocks, and dynamical systems. Brain & Cognition, 48*, 31-51.
- Smith, A., Taylor, E., Lidzba, K., & Rubia, K. (2003). *A right hemi- spheric frontocerebellar network for time discrimination of several hundreds of milliseconds. NeuroImage, 20*, 344-350.
- Speckmann E., Elger, C. E., & Altrup, U. (1993). *Neuropsychological basis of the EEG* (pp. 185-201. In Wyllie, E. (Editor), *The treatment of epilepsy: principles and practices*.
- Strathman, A., & Joireman, J. (2005). *Theory, Research, and Application*.
- Stroop, J. R. (1935). *Studies of interference in serial verbal reactions. Journal of Experimental Psychology, 18(6)*, 643–662.
- Stone, J. V. (2002). *Independent component analysis: An introduction. Trends in Cognitive Sciences, 6(2)*, 59–64.
- Tadel, F., Baillet, S., Mosher, J. C., Pantazis, D., & Leahy, R. M. (2011). *Brainstorm: A User-Friendly Application for MEG/EEG Analysis. Computational Intelligence and Neuroscience, 2011*, 1–13.
- Tecce, J. J., & Scheff, N. M. (1969). *Attention reduction and suppressed direct-current potentials in the human brain. Science, 164(3877)*, 331-333.
- Terman, M., Williams, J. B. W., & White, T. M. (2010). *Assessment instruments* (pp. 255-264). In Partonen, T., & Pandi-Perumal (Editors), *Seasonal Affective Disorder* (2nd editions). Oxford, Oxford University Press.
- Tregellas, J. R., Davalos, D. B., & Rojas, D. C. (2006). *Effect of task difficulty on the functional anatomy of temporal processing. NeuroImage, 32*, 307-315.

- Treisman, M. (1963). *Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock."* *Psychological Monographs*, 77.
- Treisman, M., Cook, N., Naish, P. L. N., & MacCrone, J. K. (1994). *The internal clock: Electroencephalographic evidence for oscillatory processes underlying time perception.* *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 47A(2), 241–289.
- Vaughan, H. G., Jr. (1969). *The relationship of brain activity to scalp recordings of event-related potentials.* In E. Donchin & D. B. Lindsley (Eds.), *Average Evoked Potentials: Methods, Results and Evaluations* (pp. 45–75). Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. J., McCallum, W. C., & Winter A. L. (1964). *Contingent negative variation: An electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain.* *Nature*, 203, 380-384.
- Wearden, J. H. (1991). *Human performance on an analogue of an interval bisection task.* *The Quarterly Journal of Experimental Psychology B: Comparative and Physiological Psychology*, 43B (1), 59–81.
- Wearden, J. H. (2003). *Applying the scalar timing model to human time psychology: Progress and challenges.* In H. Helfrich (Ed.), *Time and mind II* (pp. 21-39).
- Wittmann, M., Simmons, A. N., Aron, J. L., and Paulus, M. P. (2010). *Accumulation of neural activity in the posterior insula encodes the passage of time.* *Neuropsychologia* 48, 3110–3120.
- Zakay, D., & Block, R. (1996). *The role of attention in time estimation processes.* *Advances in Psychology*, 115, 143-164.
- Zakay, D., & Block, R. (1997). *Temporal cognition.* *Current Directions in Psychological Science*, 6, 1.
- Zakay, D. (1998). *Attention allocation policy influences prospective timing.* *Psychonomic Bulletin & Review*, 5, 114-118.

Zimbardo, P., & Boyd, J. (1999). *Putting time in perspective: A valid, reliable individual-differences metric*. *Journal of Personality & Social Psychology*, 77, 1271-1288.

Capizzi, M., Correa, A'. *Measuring temporal preparation*. In: Vatakis, A., Balci, F., Di Luca, M., Correa, A', editors of *Timing and Time Perception: Procedures, Measures, & Applications*. Brill; 2018. p. 216–232.