



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

**Corso di Laurea Magistrale in Neuroscienze e
Riabilitazione neuropsicologica**

Tesi di Laurea

**Percezione temporale e memoria
prospettica *time-based*: uno studio
comportamentale**

**Time perception and time-based
prospective memory: a behavioral study**

Relatrice

Prof.ssa Bisiacchi Patrizia

Correlatore

Dott. Cantarella Giovanni

***Laureanda: Stramucci Giulia
Matricola: 2021198***

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

ABSTRACT.....	5
INTRODUZIONE.....	6
CAPITOLO I.....	8
La Percezione del Tempo.....	8
1. Tempo Prospettico e Tempo Retrospektivo.....	9
2. La Legge di Weber.....	10
3. Compiti per Misurare le Abilità Temporali.....	11
4. Modelli Teorici sul Processamento di Intervalli Temporali.....	12
4.1 Il modello scalare del tempo.....	13
4.2 Il modello del Gate Attentivo.....	14
4.3 Evidenze a supporto del pacemaker	15
5. Basi Neurali della Percezione Temporale.....	17
5.1 I nuclei della base.....	18
5.2 La corteccia prefrontale.....	19
5.3 Il cervelletto.....	20
5.4 Il Modello Interval-Timing.....	21
CAPITOLO II.....	25
La Memoria Prospettica.....	25
1. Codifica, Mantenimento e Recupero nella Memoria Prospettica.....	25
1.1 La codifica dell'intenzione.....	26
1.2 Mantenimento dell'intenzione.....	27
1.2.1 <i>Compito ongoing</i>	27
1.2.2 <i>Monitoraggio strategico</i>	28
1.2.3 <i>Teoria del multiprocesso</i>	29
1.3 Recupero dell'intenzione.....	30
1.4 Esecuzione dell'intenzione.....	31
2. Basi Neurali della Memoria Prospettica.....	32

3. Memoria Prospettica <i>Time-Based</i>	35
3.1 Memoria prospettica <i>time-Based</i> e percezione del tempo.....	37
4. Ipotesi.....	39
CAPITOLO III.....	41
Lo Studio Sperimentale.....	41
1. Metodo.....	41
1.1 <i>Partecipanti</i>	41
2. Procedura.....	41
2.1 Compito di bisezione temporale.....	42
2.2 Compito di riproduzione temporale.....	43
2.3 Compito ongoing.....	44
2.4 Compito di memoria prospettica <i>time-based</i>	45
3. Risultati.....	46
3.1 Bisezione temporale.....	46
3.2 Riproduzione temporale.....	48
3.3 Memoria prospettica <i>time-based</i>	50
3.3.1 Performance all' <i>Ongoing</i>	51
3.3.2 <i>Accuratezza di risposta al compito prospettico</i>	52
3.3.3 <i>Monitoraggio strategico</i>	55
4. Discussione.....	56
4.1 Limiti.....	61
4.2 Prospettive future.....	62
CONCLUSIONI.....	65
BIBLIOGRAFIA.....	67

ABSTRACT

La memoria prospettica basata sul tempo (TBPM) è l'abilità di ricordare di svolgere un'azione in un preciso momento nel futuro. Per compiere l'intenzione al momento opportuno è necessario monitorare attivamente il passaggio del tempo. Studi precedenti hanno dimostrato il coinvolgimento delle abilità di percezione temporale nei comportamenti di monitoraggio strategico messi in atto per identificare il momento target in cui avviare l'azione prevista. L'obiettivo del presente studio è quello di indagare se le abilità di bisezione e riproduzione di intervalli temporali possano correlare con l'accuratezza delle risposte fornite al compito di memoria prospettica time-based. Le abilità temporali sono state indagate tramite compiti di bisezione e riproduzione di intervalli temporali. È stato infine proposto un compito di memoria prospettica time-based, in cui al partecipante è stato richiesto di premere un tasto ogni 2 minuti dall'inizio del compito durante lo svolgimento di un compito ongoing ad alto o basso carico cognitivo. Nel compito prospettico ai partecipanti è stata fornita la possibilità di consultare un orologio esterno per un massimo di cinque volte all'interno di ogni intervallo temporale. I risultati hanno dimostrato la presenza di una correlazione tra l'abilità di riproduzione di intervalli temporali e l'accuratezza di risposta al compito prospettico. Le abilità di bisezione temporale non sembrerebbero invece influire sulla prestazione in un compito di memoria prospettica time-based. Saper riprodurre accuratamente degli intervalli temporali sembrerebbe essere un'abilità coinvolta sia nel monitoraggio temporale che nella produzione di risposte ad un compito di memoria prospettica time-based.

Parole chiave: memoria prospettica *time-based*, monitoraggio temporale, riproduzione temporale, bisezione temporale

INTRODUZIONE

La memoria prospettica *time-based* è l'abilità di ricordare di dover fare qualcosa in un preciso momento nel futuro (Brandimonte, Einstein, & McDaniel, 1996). Si tratta di un processo complesso, che richiede la formulazione di piani ed intenzioni, la ritenzione dell'informazione in memoria e l'esecuzione del piano al momento appropriato (McDaniel & Einstein, 2002). Il monitoraggio strategico è una delle funzioni cognitive coinvolte nei compiti di memoria prospettica e coinvolge a sua volta due meccanismi distinti: un primo sistema che consente il mantenimento attivo dell'intenzione in memoria (*retrieval mode*) ed un secondo sistema che permette di verificare la presenza del cue prospettico al fine di avviare l'azione prevista (*target checking*). È in questa seconda modalità che si contraddistinguono i compiti di memoria prospettica basati sul tempo, in cui il segnale, che dovrebbe fungere da innesco per il recupero dalla memoria del contenuto dell'intenzione formulata e per l'avvio dell'azione ad essa associata, è di tipo interno. In un compito di memoria prospettica *time-based* è necessario, infatti, monitorare costantemente il tempo trascorso per avviare l'azione prevista al momento giusto (Groot, Wilson, Evans, & Watson, 2002; Kinch & McDonald, 2001; McDaniel, Glisky, Guynn, & Routhieaux, 1999). A supporto del processo di monitoraggio temporale, sia nelle situazioni ecologiche che di laboratorio, spesso si consulta un orologio esterno. La percezione temporale, definita come l'abilità di stimare il passaggio del tempo, è una funzione cognitiva fondamentale nel comportamento di monitoraggio temporale utilizzato per l'identificazione del momento target (Glikson & Myslobosky, 2006; Mäntylä & Carelli, 2006). Ricerche precedenti hanno infatti rilevato la presenza di correlazioni significative tra la percezione del tempo e la frequenza di monitoraggio temporale in un compito di memoria prospettica *time-based*. Le differenze rilevate nell'accuratezza di risposta al compito prospettico e nel comportamento di monitoraggio messo in atto dal singolo sono state interpretate sulla base di un coinvolgimento differente delle capacità cognitive. Lo scopo del presente studio è perciò indagare se le abilità temporali possano predire l'accuratezza della prestazione in un compito di memoria prospettica *time-based*. A tal fine abbiamo preso in considerazione le abilità di bisezione e riproduzione di intervalli temporali, in quanto è stato dimostrato che, rispetto ad altre

abilità temporali, esse coinvolgono le funzioni esecutive di alto livello (Perbal, Couillet, Azouvi, & Pouthas, 2003; Perbal, Droit-Volet, Isingrin, & Pouthas, 2002). La motivazione ad approfondire quest'aspetto nasce dal fatto che le ricerche precedenti sull'argomento hanno valutato le abilità temporali tramite altri compiti, richiedenti capacità di percezione temporale, piuttosto che di stima e riproduzione di intervalli temporali. Ci siamo dunque chiesti se le abilità di bisezione e riproduzione di intervalli temporali possano correlare con l'accuratezza di risposta fornita in un compito di memoria prospettica *time-based*. Abbiamo perciò proposto ai partecipanti tre differenti compiti sperimentali: un compito di bisezione temporale, un compito di riproduzione temporale ed un compito di memoria prospettica *time-based*. Dai risultati è emerso che le abilità di riproduzione temporale correlano con l'accuratezza di risposta al compito prospettico; mentre le abilità di bisezione di intervalli temporali, testate tramite il compito specifico da noi proposto, non sembrerebbero correlare con l'accuratezza della prestazione al compito prospettico.

La tesi è articolata in tre capitoli: il primo capitolo si concentra sulla percezione temporale, descrivendo le abilità temporali, i modelli teorici e le basi neurali del processamento di intervalli temporali. Il secondo capitolo si concentra sulla memoria prospettica, descrivendone i processi cognitivi e le base neurali coinvolte, per poi approfondire la relazione tra la memoria prospettica *time-based* e la percezione del tempo. Il terzo ed ultimo capitolo descrive il metodo, la procedura ed i risultati dello studio sperimentale condotto. A chiudere il terzo capitolo vi è una sezione con la discussione dei risultati ottenuti dall'analisi dei dati ed un cenno alle eventuali prospettive future.

CAPITOLO I

La Percezione del Tempo

Saper percepire e stimare il passaggio del tempo è un'abilità richiesta nella gran parte dei comportamenti quotidiani orientati ad uno scopo, ad esempio guidare, parlare o suonare uno strumento (Allman & Meck, 2012). Alcuni studi hanno riportato come la struttura temporale degli eventi sia determinante nella nostra percezione del mondo (Helfrich, 2000). L'abilità di stimare il passaggio del tempo viene acquisita gradualmente nel corso dello sviluppo e svolge una funzione adattiva per l'individuo (Diedrichen, Ivry, & Pressing, 2003). Da un punto di vista evoluzionistico, infatti, saper stimare intervalli dell'ordine dei millisecondi è importante per il controllo motorio e per il funzionamento dei processi cognitivi, come la memoria di lavoro o il linguaggio (Justus & Ivry, 2001). Invece, la stima di intervalli temporali dell'ordine dei secondi o dei minuti è importante al fine di identificare nell'ambiente la presenza di un predatore o la comparsa di una preda (Bateson, 2003).

La percezione del tempo passato e del tempo futuro è sempre connessa alla nostra coscienza del tempo presente (Clay, 1882). L'unità di composizione della percezione del tempo è la durata, che permette di cogliere la relazione di successione tra estremi temporali. Percepriamo quindi un intervallo temporale nella sua interezza, con le due estremità (l'inizio e la fine) incastonate in esso.

La stima della durata di un intervallo temporale inizia quando, grazie all'attività della memoria, un momento del passato viene associato con un momento del presente o quando eventi passati vengono connessi tra loro. La percezione della durata temporale richiede invece l'abilità di percepire eventi in successione come simultanei, all'interno di quello che James (1890) ha definito "*Psychological Present*", ovvero la sensazione di "attualità" provata nell'esperienza soggettiva. Questa sensazione di attualità nel presente non ha una durata fissa e corrisponde alla durata di un processo esperienziale, che non necessariamente a sua volta coincide con una durata temporale oggettiva. Si parla di "*Psychological Present*" per durate temporali che sono in media di 2 o 3 secondi e che non superano il limite dei 5 secondi. In particolare, Fraisse (1983) ha proposto una

classificazione della nostra percezione del tempo sulla base dell'intervallo percepito: a durate temporali inferiori a 0,1 secondi corrisponde una sensazione di istantaneità. Tra 0,2 secondi ed i 5 secondi il tempo viene percepito come "presente" ed infine al di sopra di 5 secondi la stima della durata coinvolge i processi mnestici, in tal caso si parla di percezione del "presente esteso" (Kinsbourne & Hicks, 1990). Il coinvolgimento dei processi mnestici per la percezione di intervalli temporali al di sopra dei 20-30 secondi è stato dimostrato da studi che hanno indagato la percezione temporale in pazienti amnesici, come H.M. (Kim, J., & Kim, Y., 2022; Mimura, Kinsbourne, & O'Connor, 2000; Scoville & Milner, 1957).

1. Tempo Prospettico e Tempo Retrospektivo

L'originale classificazione del tempo in "*time in passing*" e "*time in retrospective*", proposta da James (1890), è stata progressivamente sostituita da una distinzione tra tempo prospettico e tempo retrospektivo (Hicks, Miller & Kinsbourne, 1976). Infatti, quando viene esplicitamente richiesto di effettuare un giudizio temporale si possono presentare due condizioni: una in cui si è consapevoli, durante un dato periodo di tempo, di doverne stimare la durata (tempo prospettico) e l'altra in cui si apprende di dover valutare la durata di un intervallo temporale solo dopo la sua conclusione (tempo retrospektivo). In particolare, la nostra attenzione si è focalizzata principalmente sulle stime temporali di tipo prospettico, è stato infatti dimostrato che giudizi temporali effettuati tramite il paradigma prospettico risultano essere un indice valido per la valutazione dell'esperienza soggettiva della durata temporale (Block, 1990). Inoltre, la stima temporale di tipo prospettico è rilevante in quanto richiede che venga svolto un doppio compito (*dual task*): si è chiamati infatti a dividere le risorse attentive tra l'elaborazione di informazioni di tipo temporale ed il processamento di informazioni non temporali (Zakay & Block, 2004). Per questo motivo i modelli della percezione della durata temporale sottolineano il ruolo rilevante dell'attenzione nel processo di stima (Block & Zakay 1996; Brown, 2008; Macar, Grondin, & Casini, 1994; Zakay, 1993). Ulteriori evidenze dimostrano che le stime temporali di tipo prospettico sarebbero coinvolte in compiti di memoria prospettica *time-based* (Waldum & Sahakyan, 2013).

2. La Legge di Weber

Nel campo della ricerca sulla percezione temporale le stime della durata sono trattate come misure dell'intensità percepita dello stimolo temporale (Grondin, 2001). Trattandosi di percezione, è necessario sottolineare che gli organismi non sono in grado di percepire variazioni nella durata di uno stimolo se questi cambiamenti cadono al di sotto di una certa soglia percettiva, conosciuta come *just noticeable difference* (JND). Analizzare il cambiamento delle soglie percettive al variare della durata fornisce informazioni utili sulla natura dei processi utilizzati per misurare il tempo (Grondin, 2001). La relazione tra la soglia percettiva e l'intensità di uno stimolo è descritta dalla legge di Weber (Sowden, 2012). In particolare, la legge di Weber prevede che il rapporto tra la differenza della soglia percettiva appena percepibile (*just noticeable difference*, JND) e l'intensità di uno stimolo (I) sia costante (k):

$$\text{JND}/I = k$$

dove il rapporto JND/I è meglio conosciuto come “frazione di Weber” (WF) e k è la costante di Weber (Holway & Pratt, 1936). Ne deriva dunque che la sensibilità, ovvero la capacità di rilevare la differenza tra due stimoli, è inversamente proporzionale all'intensità fisica dello stimolo stesso.

La legge di Weber prevede che la relazione tra la sensibilità ad uno stimolo e la durata dello stesso in un compito di stima di intervalli temporali sia di tipo lineare. La legge di Weber vale per un'ampia varietà di stimoli e per un'ampia gamma di intensità (Sowden, 2012); tuttavia, viene anche violata in molti casi (Masin, 2009). Nei sistemi sensoriali di cui sono noti i substrati neurali è stato visto che la legge di Weber è il risultato di una trasformazione a livello dei sistemi di trasduzione sensoriale di primo ordine. Tuttavia, le difficoltà nell'estensione di questi stessi risultati al processamento di intervalli temporali è da ricercare nel fatto che in quest'ultimi non risulta ancora chiaro né quale stimolo subisca la trasformazione in stimolo sensoriale né quale area cerebrale sia deputata a tale trasformazione dell'input sensoriale in segnale neurale.

3. Compiti per Misurare le Abilità Temporali

Per studiare le abilità temporali ed i processi coinvolti sono state sviluppate differenti procedure metodologiche, alcune volte ad indagare le abilità di percezione temporale ed altre le abilità di riproduzione temporale. I metodi classicamente utilizzati a tal fine prevedono compiti di produzione temporale, stima verbale, riproduzione temporale e discriminazione temporale (Grondin, 2010; Zakay, 1990). Nei compiti di percezione temporale i partecipanti tipicamente sono chiamati ad effettuare una comparazione tra la durata di uno stimolo target e la durata di uno o più stimoli di riferimento. Ad esempio, nei compiti di stima verbale i partecipanti prima esperiscono una durata temporale e poi sono chiamati ad indicare la durata temporale esperita in una durata oggettiva utilizzando le unità temporali di riferimento (Grondin, 2010).

In compiti di discriminazione temporale i partecipanti sono chiamati a comparare le relative durate di due intervalli presentati in sequenza e a determinare se il secondo intervallo presentato sia più breve o più lungo rispetto all'intervallo standard. Le prestazioni in compiti di discriminazione temporale richiedono abilità di memoria di lavoro, poiché è necessario mantenere la durata standard in memoria mentre si elabora in contemporanea la durata da confrontare; oltre alla memoria, sarebbero necessarie anche risorse attenzionali e processi di presa di decisione per fornire un giudizio (Grondin, 2010). Un tipico compito di discriminazione temporale è il compito di bisezione temporale, che è stato scelto nella presente ricerca per valutare le abilità di stima temporale. In un compito di bisezione temporale è possibile, infatti, calcolare il punto di bisezione, corrispondente alla precisa durata temporale in cui i soggetti hanno dimostrato di aver classificato uno stimolo come “breve” o “lungo” con la stessa probabilità. Questo singolo punto offre delle informazioni importanti su come una durata temporale venga rappresentata ed elaborata nel cervello, infatti è in corrispondenza di questa precisa durata che il processo decisionale utilizzato per comparare stimoli temporali a valori temporali immagazzinati in memoria risulta essere uguale per entrambe le opzioni. A partire dalla funzione psicometrica da cui è possibile ricavare il punto di bisezione di ciascun partecipante si può determinare anche il grado di sensibilità di ciascuno nel discriminare tra gli stimoli sonda e classificarli poi come “brevis” o “lungi”, ovvero la “Weber ratio” o “frazione di Weber. La Weber ratio è definita secondo la seguente equazione: $(T(PL =$

$0.75) - T(PL = 0.25)) / T(PL = 0.5)$, dove $T(PL = x)$ è la durata in corrispondenza della quale il soggetto risponde “lungo” con una probabilità pari ad x . La durata $T(PL = 0.5)$ corrisponde al punto di bisezione e la differenza tra le durate $T(PL = 0.75) - T(PL = 0.25)$ è definita come “differenza appena percepibile” (“just noticeable difference”, JND).

I compiti di produzione temporale richiedono non solo di stimare la durata temporale, ma anche di produrre un a risposta al compito tramite un movimento (ad es. pressione prolungata di un tasto). In questa tipologia di compiti viene indicata una durata temporale e i partecipanti sono chiamati a produrre l’intervallo temporale corrispondente. Diversamente, In un compito di riproduzione temporale ai partecipanti viene mostrato uno stimolo per un certo periodo di tempo e successivamente viene richiesto di riprodurre il più accuratamente possibile l’intervallo temporale di permanenza dello stimolo appena visto. Per realizzare ciò, non solo sono chiamate in causa le risorse attentive, ma anche la memoria di lavoro sembrerebbe particolarmente implicata nel recupero e nella riproduzione di una durata temporale standard (Mioni, Stablum, McClintock, & Grondin, 2014). Evidenze dimostrano che i compiti di riproduzione temporale, diversamente dai compiti di produzione temporale, forniscono informazioni circa la componente mnestica coinvolta nella percezione temporale (Mahlberg, Kienast, Bschor, & Adli, 2008). In particolare, ci siamo interessati ai compiti di riproduzione e di discriminazione temporale, poiché entrambi richiedono l’impiego di risorse cognitive di ordine elevato per mantenere attiva la durata temporale di riferimento, riprodurla o paragonarla con la durata di confronto (Mioni, Mattallia, Stablum, 2013).

4. Modelli Teorici sul Processamento di Intervalli Temporali

Sebbene ciascuno dei metodi di percezione e produzione temporale precedentemente elencati richieda delle componenti specifiche, studi effettuati su individui sani e su pazienti con disturbi neurologici hanno evidenziato che le abilità di percezione e di produzione temporale sembrerebbero attingere ad un sistema interno unitario che permette il processamento di informazioni temporali. Il processamento di stimoli temporali è stato tipicamente spiegato sia utilizzando spiegazioni di stampo

cognitivo, per cui effettueremmo giudizi temporali sulla base di cue (Thomas & Weaver, 1975; Block & Reed, 1978; Block, 1989; James e Boltz, 1989), che tramite l'utilizzo di modelli alternativi che ipotizzano l'esistenza di un orologio interno (internal clock models; Treisman, 1963; Gibbon, 1977; Zakay & Block, 1997).

4.1 Il modello scalare del tempo

Un modello teorico di riferimento per spiegare il processamento di intervalli temporali negli animali e negli umani è la teoria dell'Aspettativa Scalare (SET; Gibbon, 1977). Secondo il modello di Gibbon (1977), nei compiti richiedenti stime temporali di tipo prospettico sono implicati tre differenti meccanismi: un orologio interno, un magazzino mnestico ed una fase di presa di decisione. Il meccanismo dell'orologio interno comprende a sua volta: un pacemaker ed un accumulatore di impulsi, separati da una sorta di interruttore. Il pacemaker è l'elemento principale dei modelli che ipotizzano l'esistenza di un orologio interno, quest'ultimo viene frequentemente descritto come un processo ricorrente e a carattere oscillatorio che emette impulsi ad una frequenza costante, ma con una variabilità coerente con quanto ipotizzato dalla legge di Weber (Gibbon & Church, 1984; Treisman, Faulkner, & Naish, 1992). In presenza dello stimolo target avviene l'apertura dell'interruttore, il cui funzionamento è paragonabile a quello di un cancello, e l'output generato dal pacemaker viene inviato all'accumulatore d'impulsi. L'accumulatore, a sua volta, integra continuamente i valori inviati dal pacemaker al fine di produrre una rappresentazione dinamica del tempo. A determinare lo spegnimento dell'interruttore è l'arrivo di uno stimolo che segnala la fine dell'intervallo temporale, dopodiché nessun segnale verrà più inviato all'accumulatore.

Se il compito che si sta svolgendo richiede di fornire un giudizio basandosi su queste informazioni temporali, allora degli intervalli di riferimento vengono recuperati dalla memoria per essere successivamente comparati con l'intervallo temporale corrente. Il rapporto tra le rappresentazioni temporali recuperate dalla memoria e l'intervallo temporale corrente determinerà il giudizio temporale effettuato dall'individuo. Le rappresentazioni temporali avrebbero dunque due proprietà fondamentali: l'accuratezza media, ovvero la necessità che le stime interne della durata di uno stimolo siano in media

accurate, e la proprietà scalare, per cui la variabilità delle stime temporali è proporzionale alla durata dell'intervallo.

Il pacemaker è infatti inserito in un sistema di processamento di informazioni più ampio, per questo motivo gli errori nel processamento di intervalli temporali sarebbero causati non solo dal funzionamento del dispositivo stesso, ma anche dalle abilità mnestiche e dai processi decisionali. Focalizzandosi maggiormente sul funzionamento del meccanismo del pacemaker-accumulatore negli umani, si è visto che l'ammontare di risorse attentive dedicate al processamento temporale risulta essere il principale fattore in grado di modulare il meccanismo di accumulazione degli impulsi. Il ruolo dell'attenzione sarebbe proprio quello di operare un cambiamento, che determina l'ingresso degli impulsi all'interno dell'accumulatore. A tal proposito, sono stati proposti ulteriori modelli al fine di comprendere il coinvolgimento delle funzioni cognitive, in particolare dell'attenzione, nel processamento di intervalli temporali.

4.2 Il modello dell'Attentional Gate

Il modello dell'*Attentional Gate* (Zakay & Block, 1997), riprendendo la teoria di Gibbon (1977) circa il funzionamento dell'orologio interno, ipotizza l'esistenza di tre ulteriori componenti cognitive necessarie al fine di monitorare esplicitamente il tempo e di rappresentare in maniera consapevole la durata temporale. In primis, l'arousal generale dell'individuo è un mediatore della velocità del pacemaker interno; un livello di attivazione psicofisiologica elevato aumenta la velocità del pacemaker, mentre un livello di attivazione più basso del normale provoca una riduzione della velocità dello stesso. L'attenzione selettiva è un'ulteriore componente chiave del modello, che opera come un cancello, rendendo disponibile alla coscienza il prodotto dell'elaborazione del meccanismo dell'orologio interno. Quando le risorse attentive sono indirizzate agli aspetti temporali di un compito, grazie all'apertura del gate avviene il trasferimento degli impulsi dal pacemaker all'accumulatore. L'accumulatore funzionerebbe poi da magazzino di memoria a breve termine, che aggiorna continuamente la rappresentazione del tempo trascorso e permette il confronto tra l'intervallo temporale target ed altri intervalli temporali precedentemente esperiti. Infine, un'ultima componente, proposta nelle

versioni più recenti del modello, consiste in una sorta di interruttore aggiuntivo posizionato tra il gate attentivo e l'accumulatore, l'interruttore è preposto a segnalare l'arrivo di uno stimolo rilevante per il compito e quindi ad azzerare il valore dell'accumulatore al fine di iniziare un nuovo conteggio. Quando un segnale indica il termine dell'intervallo temporale d'interesse, l'interruttore si chiude ed il conteggio viene trasferito ad un magazzino di memoria a breve termine. Quando il gate attentivo è chiuso, i sistemi sensoriali e motori possono ancora accedere all'orologio interno al fine di produrre comportamenti che non richiedono una rappresentazione esplicita del tempo. Queste tre componenti cognitive postulate dal modello di Zakay e Block (1997) nel complesso formano un'unità conosciuta con il nome di "orologio-contatore".

Il modello avanza anche delle ipotesi aggiuntive circa il processamento delle informazioni temporali. In primo luogo, il modello prevede che quando gli intervalli superano il range rilevante per gli eventi sensoriali e motori tipici (ad esempio 1 secondo), verrebbe effettuata una maggiore richiesta di risorse all'attenzione sostenuta e alla memoria di lavoro, componenti che inizieranno a loro volta a fornire contributi sproporzionati alla varianza complessiva. In secondo luogo, viene ipotizzato che, quando ci sono dei compiti non temporali simultanei da svolgere, le risorse attentive sarebbero meno indirizzate al funzionamento del gate per il processamento delle informazioni temporali, provocando quindi un immagazzinamento più lento e variabile degli impulsi da parte dell'accumulatore. Infine, i modelli cognitivi della percezione temporale aprono la possibilità che processi di tipo top-down, come l'utilizzo di strategie, possano modulare i processi di stima temporale.

4.3 Evidenze a supporto dell'esistenza del pacemaker interno

Le prime evidenze a supporto dell'ipotesi dell'esistenza di un pacemaker interno derivano dagli studi condotti in campo farmacologico che hanno indagato il funzionamento del sistema dopaminergico nigrostriatale. La somministrazione sistematica di farmaci dopaminergici altererebbe infatti la velocità di processamento di intervalli temporali (Maricq, Roberts, & Church, 1981; Maricq, Roberts, & Church, 1983; Meck, 1996). Dopo la somministrazione di farmaci agonisti dopaminergici del recettore

D2 (ad esempio metamfetamine o cocaina) viene riportata una tendenza immediata e proporzionale alla dose assunta ad anticipare la risposta in un compito temporale rispetto alle condizioni di controllo; mentre, in seguito alla somministrazione sistematica di antagonisti dopaminergici (ad esempio l'aloiperidolo), è stata riportata una tendenza da parte degli individui a produrre una risposta ritardata in un compito temporale. Questi risultati suggeriscono che l'incremento o la diminuzione dei livelli dopaminergici sarebbe uno dei fattori in grado di modulare la velocità di elaborazione dell'orologio interno (Mattell & Meck, 2004). I modelli animali del processamento temporale ipotizzano che i neuroni dopaminergici localizzati nella pars compacta, una porzione della substantia nigra, siano responsabili della generazione d'impulsi dell'orologio interno, risultati simili sono stati rilevati anche negli umani.

Pazienti schizofrenici, che tipicamente hanno dei livelli di dopamina endogena elevati, sembrano esperire il tempo soggettivo come se passasse più velocemente del tempo oggettivo (Wahl & Sieg, 1980). Al contrario, i pazienti affetti da morbo di Parkinson, una malattia degenerativa della via nigro-striatale che porta ad una riduzione dei livelli di dopamina nello striato, esperiscono il tempo soggettivo come più lento rispetto al tempo oggettivo quando i livelli di dopamina raggiungono il livello minimo (Malapani, Khatri, Dubois, & Gibbon, 1998). La presenza di alterazioni della percezione del tempo in questi pazienti è stata riportata sia in compiti che richiedono la produzione di un intervallo temporale che in compiti percettivi (Harrington, Haaland, & Hermanowicz, 1998) e coinvolge intervalli temporali sia dell'ordine dei millisecondi (Harrington & Haaland, 1998) che durate superiori al secondo (Smith, Harper, Gittings, & Abernethy, 2007). Tuttavia, un ripristino farmacologico dei normali livelli di dopamina permette di migliorare le disfunzioni nella percezione temporale nei pazienti schizofrenici (Angel, 1973) e nei pazienti affetti da Parkinson (Pastor, Artieda, Jahanshahi, & Obeso, 1992). Cambiamenti nei livelli di dopamina e conseguenti distorsioni di stima temporale sono osservabili anche in adulti sani, in seguito a somministrazioni di farmaci agonisti del recettore dopaminergico D2, come l'aloiperidolo, o dopo somministrazione di un antagonista muscarinico, come la scopolamina (Rammsayer, 1999).

Variazioni nella velocità di processamento temporale dell'orologio endogeno possono essere prodotte non solo dai livelli dopaminergici, ma anche dall'assunzione di sostanze psicostimolanti, come la caffeina e la nicotina (Ague, 1974), o di sostanze che

causano la depressione dell'attività del sistema nervoso centrale, come l'alcol (Lindmann & Taxell, 1975). È noto anche che la percezione temporale sia influenzata da fattori psicologici, come la sensazione di noia o la presenza di situazioni stressanti (Boltz, 1994). Dunque, sembrerebbe essere una modulazione generale dello stato di attivazione psicofisiologica a determinare la velocità di funzionamento dell'orologio interno, mentre il ruolo della dopamina sarebbe quello di produrre e mantenere uno stato di arousal elevati di fronte a stimoli salienti (Horvitz, 2000).

5. Basi Neurali della Percezione Temporale

L'integrazione dei modelli teorici descritti precedentemente ha rappresentato un punto di partenza per l'individuazione delle basi neurobiologiche del tempo. L'ipotesi dell'esistenza di un unico circuito funzionale (Allan, 1979) deputato all'elaborazione di informazioni temporali è stata ampiamente superata nel corso del tempo (Mauk & Buonomano, 2004), infatti evidenze neuropsicologiche dimostrano che i deficit nella percezione temporale non sono emergono unicamente come problemi generici conseguenti a danni di tipo neurologico (Mangels & Ivry, 2001). Oggi si fa riferimento piuttosto ad approcci teorici alternativi, secondo i quali la percezione temporale dipenderebbe dal funzionamento di un network di aree cerebrali, che si attivano a seconda del tipo di compito temporale che è necessario svolgere.

Grazie alla rilevazione di dissociazioni tra compiti che richiedono analisi temporali e non di eventi percettivamente simili, è stato dimostrato che le singole componenti del modello dell'orologio interno possono essere selettivamente compromesse. Finora queste dissociazioni sono state rilevate in pazienti con lesioni a carico di strutture sottocorticali, nello specifico dei gangli della base e del cervelletto (Casini & Ivry, 1999; Harrington & Haaland, 1998), così come sono state rilevate in pazienti con lesioni a carico delle regioni corticali, tra cui la corteccia prefrontale dorsolaterale e la corteccia parietale inferiore (Harrington, Haaland, & Knight, 1998; Nichelli, Clark, Hollnagel, & Grafman, 1995). Sebbene anche studi di neuroimaging dimostrino il coinvolgimento di strutture corticali e sottocorticali in un network dedicato

al processamento di informazioni temporali (Rao, Harrington, Haaland, Bobholz, Cox, & Binder, 1997), determinare la specifica funzione di ciascun'area risulta tutt'ora difficile. Tuttavia, pochi studi neuropsicologici, ad oggi, si sono occupati di manipolare sistematicamente delle variabili come l'intervallo temporale, l'attenzione o la strategia di processamento al fine di evidenziare delle dissociazioni tra i differenti moduli deputati al processamento di informazioni temporali e determinare come questi interagiscono tra loro.

5.1 I nuclei della base

Recenti studi hanno dimostrato il coinvolgimento dello striato e delle sue proiezioni afferenti dalla substantia nigra pars compacta (SNPC) sia nella produzione di intervalli temporali che nella stima temporale (Clarke & Ivry, 1997; Dallal & Meck, 1993; Mattell, Chelius, Meck & Sakata, 2000). Storicamente ai gangli della base è stato associato il ruolo del controllo motorio (Phillips, Bradshaw, Iansak, & Chiu, 1993), tuttavia è stato dimostrato il loro coinvolgimento anche in compiti cognitivi e motivazionali (Middleton, & Strick, 1994).

L'anatomia dei gangli della base suggerisce che le informazioni, comprese quelle temporali, vengano trasmesse dalla corteccia allo striato ed infine al talamo, formando così un vero e proprio circuito di scambio delle informazioni. Mattell & Meck (2004) hanno proposto un modello di funzionamento del circuito, schematizzabile come un circuito chiuso in cui le informazioni vengono ripetutamente processate nello stesso ordine. Grazie alla presenza di proiezioni eccitatorie di tipo glutamatergico provenienti dalla corteccia cerebrale ed in misura minore dal talamo, lo striato invia infatti un segnale di input ai gangli della base. In particolare, il segnale di output dello striato è di tipo GABA-ergico e può seguire due vie: una via diretta ed una via indiretta. La via diretta si compone di proiezioni dirette al globo pallido interno e alla substantia nigra para reticolare, le quali a loro volta proiettano direttamente al talamo. La via indiretta invece dal talamo proietta alla porzione esterna del globo pallido, al nucleo subtalamico ed infine alla substantia nigra, per arrivare poi al talamo. L'influenza che questi nuclei hanno sul talamo è di tipo inibitorio. Infine, il talamo a sua volta fornisce un output glutamatergico

eccitatorio di nuovo alla corteccia e quindi il segnale arriva di nuovo allo striato. Sebbene ci sia un certo grado di indipendenza a livello anatomico, per quanto riguarda i differenti input corticali e talamici, mantenuta anche a livello dei gangli della base tramite la formazione di una sorta di microcircuiti, non è ancora chiaro se l'output dal talamo sia diretto alle stesse zone corticali da cui è stato generato il segnale iniziale. Meck, Penney & Pouthas (2008) hanno individuato nello striato dorsale la sede anatomica della componente centrale dell'orologio interno.

5.2 La corteccia prefrontale

Studi su pazienti con lesioni a carico della corteccia prefrontale portano evidenze a favore dell'importanza di questa regione cerebrale nella percezione temporale. La difficoltà di questi pazienti è da ricercare nel processamento di intervalli più lunghi di un secondo (Koch, Oliveri, Carlesimo, & Caltagirone 2002) e queste risultano essere maggiori all'aumentare delle risorse attenzionali e di memoria di lavoro richieste dal compito (Casini & Ivry, 1999; Mangels, Ivry, & Shimizu, 1998). Infatti, sebbene l'arousal generale sia il principale fattore modulatore della soglia di apertura del gate, affinché le informazioni temporali vengano trasferite all'accumulatore, è necessario prestare attenzione al processamento temporale perché il flusso di informazioni temporali venga immagazzinato nella memoria di lavoro. Inoltre, più a lungo è necessario mantenere l'attenzione sostenuta sul processamento di informazioni temporali, maggiore sarà la probabilità che negli individui sani le rappresentazioni temporali siano caratterizzate da una maggiore variabilità (Mangels, Ivry, & Shimizu, 1998). Pazienti con lesioni dei lobi frontali risultano essere costantemente compromessi nel processamento di intervalli temporali dell'ordine dei secondi, mentre la loro performance rimane inalterata (Mangels, Ivry, & Shimizu, 1998) o meno compromessa (Nichelli, Clark, Hollnagel, & Grafman, 1995) nella stima di durate temporali dell'ordine dei millisecondi. Studi effettuati tramite la stimolazione magnetica transcranica (TMS) su partecipanti sani hanno permesso di ottenere ulteriori evidenze a favore del coinvolgimento della corteccia prefrontale destra nella stima di intervalli temporali più lunghi di un secondo (Jones, Rosenkranz, Rothwell, & Jahanshahi, 2004; Koch, Olivieri, Torriero, Salerno, Lo Gerfo, & Caltagirone, 2007);

questa regione cerebrale avrebbe inoltre un ruolo chiave anche nella mediazione dei processi mnestici coinvolti nelle stime temporali (Jones, Rosenkranz, Rothwell, & Jahanshahi, 2004).

Nei modelli cognitivi della percezione temporale viene attribuito un ruolo importante anche alla memoria di lavoro, che funzionerebbe come un sistema di aggiornamento dinamico in grado di mantenere attivo il conteggio effettuato dal pacemaker, oltre che essere utile al fine di mantenere attivo l'intervallo target per un confronto. Entrambe le funzioni sono chiamate in causa durante un compito di discriminazione di intervalli temporali, quando i due intervalli temporali da confrontare vengono presentati uno di seguito all'altro. Tuttavia, ci sono anche situazioni in cui è necessario recuperare gli intervalli memorizzati dalla memoria a lungo termine per effettuare un confronto diretto tra tempo corrente e tempo passato. Il limite temporale massimo che può essere trattenuto dalla memoria di lavoro è stimabile attorno ai 15-30 secondi circa. Durate superiori ai 30 secondi sarebbero invece immagazzinate nella memoria a lungo termine (MTL; Kinsbourne & Hicks, 1990). Dunque, non solo la corteccia frontale è implicata in compiti di mantenimento delle informazioni temporali (Prabhakaran, Narayanan, Zhao, & Gabrieli, 2000), ma anche la regione temporale e l'ippocampo sono necessarie per una corretta codifica delle rappresentazioni temporali. Tuttavia, sebbene ci aspettiamo che pazienti amnesici con lesioni situate nel lobo medio-temporale e nell'ippocampo abbiano difficoltà nella codifica di informazioni nella memoria dichiarativa a lungo termine (Milner, Squire, & Kandel, 1998), non sono stati effettuati sufficienti studi al fine di comprendere come questo deficit si rifletta nel processamento di intervalli temporali.

5.3 Il cervelletto

È stato dimostrato che pazienti con lesioni cerebellari mostrano sia una maggiore variabilità nei compiti temporali di tipo motorio, che una minore accuratezza nei compiti percettivi sul tempo (Coull, Cheng, & Meck, 2011). Già studi precedenti su modelli animali avevano dimostrato l'importanza dell'attivazione cerebellare per l'apprendimento condizionato, in particolare questi avevano rilevato il coinvolgimento del cervelletto nelle forme di apprendimento in cui è necessario effettuare una detezione

dell'intervallo inter-stimolo (Perret, Ruiz, & Mauk, 1993). Studi effettuati su pazienti con lesioni cerebellari confermano il ruolo del cervelletto nell'apprendimento, in particolare quando è necessario effettuare una rappresentazione precisa dell'intervallo che intercorre tra due stimoli (Daum, Schugens, Ackermann, Lutzenberger, Dichgans, & Birbaumer, 1993) e confermano la capacità del cervelletto di isolare precisamente degli intervalli temporali, in assenza di un contesto temporale macroscopico (Breska & Ivry, 2021). Gli effetti delle lesioni cerebellari sembrano inoltre manifestarsi in maniera consistente in compiti che utilizzano durate temporali inferiori ad un secondo (Malapani, Dubois, Rancurel, & Gibbon, 1998; Nichelli, Alway, & Grafman, 1996). Kock et al. (2007) hanno dimostrato l'importanza del cervelletto nelle stime esplicite di intervalli temporali nell'ordine dei millisecondi tramite l'utilizzo della TMS ripetitiva su entrambi gli emisferi cerebellari (porzione laterale e mediale). Nonostante entrambi gli emisferi cerebellari contribuiscano all'elaborazione del tempo, la porzione laterale dell'emisfero cerebellare sinistro sembrerebbe maggiormente coinvolta nel processamento temporale (Ivry & Keele, 1989).

5.4 Il modello dell'*Interval-Timing*

I modelli teorici fin ora trattati hanno descritto la rappresentazione temporale come il prodotto del funzionamento di un unico processo oscillatorio endogeno, caratterizzato dalla presenza di un solo orologio interno deputato all'elaborazione di tutte le durate temporali. I modelli dei network neurali portano invece evidenze a favore del fatto che il processamento temporale sia distribuito tra più strutture cerebrali, ciascuna deputata all'elaborazione di intervalli temporali differenti. La scoperta del ruolo del cervelletto nel processamento temporale ha senz'altro contribuito alla formulazione di modelli alternativi che fossero in grado di tenere conto di queste nuove evidenze.

A questo proposito, una visione alternativa delle modalità di rappresentazione temporale viene fornita dal modello degli intervalli temporali (Ivry, 1996). Secondo il modello, la rappresentazione delle durate temporale sarebbe paragonabile al funzionamento di una clessidra, in cui, sebbene ci sia una certa periodicità a livello microscopico (ad esempio, nella frequenza con cui cadono i granelli di sabbia), a livello

macroscopico il sistema è deputato alla rappresentazione di un singolo intervallo. Secondo il modello esisterebbe quindi una popolazione di unità temporali, ciascuna delle quali risulta essere sintonizzata su un particolare intervallo di tempo (Ivry, 1996). Per il processamento di intervalli temporali differenti (ad esempio, 400 e 600 millisecondi) si attiverebbero in risposta elementi differenti, che possono perciò essere considerati come unità funzionali distinte e corrispondono a popolazioni di segnali neurali che variano per le loro proprietà di attivazione (Buonomano & Mauk, 1994). A livello funzionale questa popolazione di elementi preposti all'elaborazione di intervalli temporali differenti formerebbe una mappa cronotipica nel cervello, simile all'organizzazione tonotipica della corteccia uditiva (Ivry, 1996).

Tuttavia, il modello presenta dei limiti a livello funzionale. Diversamente dai pacemakers che hanno la possibilità di emettere gli impulsi in maniera indefinita, i calcolatori di intervalli temporali sarebbero limitati nella gamma di intervalli che sono in grado di rappresentare. È abbastanza improbabile, infatti, che un sistema neurale che provvede a fornire delle rappresentazioni in tempo reale sia in grado di processare durate temporali oltre il secondo (Ivry, 1996). È possibile dunque avanzare l'ipotesi che il cervelletto fornisca rappresentazioni basate sugli intervalli, ma che comunque debba lavorare in concomitanza con altri sistemi neurali aggiuntivi, specialmente quando il compito richiede l'elaborazione temporale di durate più lunghe.

È dunque ampiamente supportata l'esistenza di processi differenti deputati all'elaborazione di intervalli temporali di durata superiore od inferiore ad un secondo (Penney & Vaitilingam, 2008). Quest'evidenza apre la strada a possibilità di integrare i modelli degli intervalli temporali, per i quali il cervelletto sarebbe la struttura chiave implicata nel processamento temporale, ed i modelli del pacemaker endogeno, basati invece sul funzionamento della via dopaminergica nigrostriatale. Il funzionamento del pacemaker verrebbe perciò attivato quando viene superata la durata temporale rappresentabile tramite il sistema di intervalli temporali mediato dal cervelletto. Infatti, gli effetti della dopamina e di altre sostanze che producono un aumento dell'arousal sono stati rilevati in compiti che prevedevano la stima di intervalli temporali più lunghi di quelli supportati da meccanismi basati sugli intervalli temporali. Tuttavia, sono state osservate distorsioni nella percezione di intervalli temporali relativamente brevi (inferiori ad 1 secondo) in pazienti con morbo di Parkinson (Artieda, Pastor, Lacruz, & Obeso,

1992; Rammsayer & Classen, 1997) e in seguito a manipolazioni dei livelli dopaminergici, anche in individui sani (Rammsayer, 1999).

Un'altra ipotesi formulata per integrare i modelli esposti prevede che i meccanismi basati sugli intervalli temporali siano deputati a fornire le informazioni temporali di base. Secondo questa visione le manipolazioni dei livelli di dopamina ed un incremento dell'arousal modificherebbero invece la soglia di apertura del gate, che permette il passaggio delle informazioni temporali dal pacemaker all'accumulatore, piuttosto che influenzare la velocità del processo oscillatorio endogeno di per sé. A supporto di quest'ipotesi ci sono evidenze circa l'influenza esercitata dai livelli di dopamina sul valore soglia oltre il quale gli eventi sensoriali sono in grado di innescare le risposte motorie (White, 1987). Se maggiori livelli di dopamina provocano l'abbassamento della soglia di apertura del gate attentivo, le conseguenze comportamentali osservabili saranno simili a ciò che ci si aspetterebbe se la velocità del pacemaker aumentasse.

In conclusione, gli strumenti quotidianamente utilizzati per misurare il tempo sono stati progettati per effettuare delle stime approssimando la durata temporale in questione, sarebbe infatti impossibile misurare i secondi facendo uso di un calendario e non sarebbe efficace misurare gli anni tramite un cronometro. Allo stesso modo sembrerebbe improbabile che uno stesso meccanismo sia in grado di provvedere al processamento di tutti i fenomeni e le regolarità temporali che un organismo esperisce quotidianamente nell'ambiente. Alla luce di ciò, l'esistenza di due sistemi differenti per il processamento di intervalli temporali di diversa durata risulta quindi essere l'ipotesi più plausibile, anche grazie alle numerose evidenze neuropsicologiche rilevate (Casini & Ivry, 1999; Ivry & Spencer, 2004; Lewis & Miall, 2003; Rubia, 2006; Mioni, Stablum, McClintock, & Cantagallo, 2012). Il processamento di intervalli temporali brevi (al di sotto di 1 secondo) sarebbe necessario quindi per il controllo motorio, infatti i movimenti automatici hanno tipicamente una durata inferiore al secondo; mentre per intervalli temporali più lunghi sarebbe necessario il reclutamento di risorse cognitive aggiuntive al fine di memorizzare, integrare ed elaborare attivamente un intervallo (Lewis & Miall, 2003; Mioni, Stablum, McClintock, & Grondin, 2014), per questo spesso vengono utilizzate delle strategie cognitive (Grondin, 2010). Perciò è possibile concludere che il cervelletto ed i gangli della base siano maggiormente coinvolti nei meccanismi dell'orologio interno. Le aree

prefrontali medierebbero invece la percezione temporale tramite il reclutamento di funzioni cognitive aggiuntive, come l'attenzione e la memoria di lavoro (Rubia, 2006).

CAPITOLO II

La Memoria Prospettica

La memoria prospettica è l'abilità di ricordare di svolgere un'azione nel futuro (Brandimonte, Einstein, & McDaniel, 2014). Spesso nella vita quotidiana vengono formulate intenzioni di tipo prospettico e la loro realizzazione ha importanti implicazioni sulla salute (ricordare di prendere le medicine), sulla vita sociale (restituire un libro ad una persona) e sulla sicurezza (spegnere il fornello dopo aver cucinato) degli esseri umani. Un'intenzione è definita come la prontezza con cui ciascuno si predispone ad agire nel futuro, dove il "cosa fare" ed il "quando fare" possono essere più o meno definiti a priori (Gauld & Shotter, 1977). Tra le intenzioni che vengono formulate prima di svolgere un'azione distinguiamo le intenzioni immediate da quelle ritardate; essendo l'esecuzione di quest'ultime rinviata nel tempo, per portarle a termine sono richieste abilità di memoria prospettica. La memoria prospettica è dunque una funzione complessa, composta da più componenti, fasi e processi (Kliegel, Martin, McDaniel, & Einstein, 2002; McDaniel & Einstein, 2000;). È facile intuire che i fattori che potrebbero intervenire nel recupero dell'intenzione, la cui esecuzione è ritardata nel tempo, ed indurre in errore sono molteplici. A tal proposito è stato dimostrato che circa il 50-80% dei problemi di memoria quotidiani riguardano la difficoltà nell'esecuzione di intenzioni future (Kliegel & Martin, 2003).

1. Codifica, Mantenimento e Recupero nella Memoria Prospettica

Più nello specifico, la memoria prospettica prevede la presenza di una componente retrospettiva e di una componente prospettica (Einsteinl, Holland, McDaniel, & Guynn, 1992). La componente retrospettiva supporta il recupero del contenuto dell'intenzione dalla memoria e del contesto in cui è necessario eseguire l'azione. Mentre la componente

prospettica è preposta al recupero dell'intenzione al momento appropriato, che tipicamente viene chiamato "cue di memoria prospettica".

La memoria prospettica è inoltre composta da quattro differenti fasi: la codifica del contenuto dell'intenzione e del contesto di recupero della stessa, il mantenimento in memoria dell'intenzione, il recupero dell'intenzione ed infine l'avvio e l'esecuzione dell'azione con la conseguente valutazione degli esiti (Kliegel, Martin, McDaniel, & Einstein, 2002). All'interno di questo processo la componente retrospettiva corrisponde grossomodo alla prima fase e comprende perciò la codifica ed il mantenimento sia del contenuto dell'intenzione che del contesto di recupero. La componente retrospettiva comprende anche l'aspetto intenzionale dell'azione, che racchiude a sua volta l'importanza che il singolo fornisce alla stessa, i benefici che ne potrebbero derivare e le sue conseguenze. La componente prospettica si fa generalmente corrispondere alle ultime fasi del processo precedentemente descritto, a partire dal ricordo dell'intenzione da svolgere fino alla valutazione degli esiti dell'azione.

1.1 Codifica dell'intenzione

Un primo passo per eseguire con successo l'azione programmata consiste nel codificare in memoria un'azione (che cosa si vuole fare), un intento (il fatto che si è deciso di fare qualcosa) ed un contesto di recupero (quando bisogna recuperare l'intento e l'azione e metterli in atto). L'azione da compiere varia in base alla sua complessità, che a sua volta è determinata da numerosi fattori, come ad esempio quello di essere una novità per l'individuo o di essere costituita da più parti. Il contesto di recupero, invece, può essere specifico (un evento specifico) oppure generale (una serie di eventi possibili). Dunque, il contesto di recupero di un'azione è ciò che determina le condizioni perché l'azione codificata venga recuperata, mentre l'intenzione soggettiva eserciterebbe un'influenza sul livello di attivazione psicofisiologica indotta dall'azione. Il livello di attivazione psicofisiologica individuale, entro un certo intervallo di ritenzione delle informazioni, ha un effetto benefico sulla performance (McDaniel & Scullin, 2010).

Questa prima fase risponde all'esigenza di formare dei processi di pianificazione, che sono richiesti ogni volta che si formula un'intenzione. Perciò sono chiamate in causa

le funzioni esecutive, tra queste le abilità di planning sarebbero cruciali per la formazione dell'intenzione e per l'inibizione di caratteristiche irrilevanti ai fini del compito (Kliegel, Martin, McDaniel, & Einstein, 2002).

1.2 Mantenimento dell'intenzione

La seconda fase del processo prevede che l'intenzione formulata venga mantenuta durante tutto l'intervallo temporale che intercorre tra la formazione dell'intenzione e l'esecuzione dell'azione prevista. La durata di quest'intervallo temporale tipicamente varia da qualche secondo a diversi giorni od anni; inoltre, la natura dell'intervallo di ritenzione sarebbe importante tanto quanto la sua durata (Brandimonte, Einstein, & McDaniel, 1996).

Questa è l'unica fase durante un compito di memoria prospettica che richiede l'intervento della memoria retrospettiva. La frequenza con cui il contenuto dell'azione viene richiamato in memoria in prossimità del contesto di recupero è un fattore determinante, infatti questa è strettamente connessa alla facilità con cui avviene il recupero dell'intenzione in corrispondenza del momento o dell'evento target. Tuttavia, come accade ai ricordi di tipo retrospettivo, al crescere dell'intervallo di ritenzione mnestica si verifica un'alterazione del ricordo per effetto del decadimento delle tracce mnestiche. È necessario sottolineare che anche le intenzioni di tipo prospettico, come gli altri contenuti mnestici, sono soggette ad effetti d'interferenza, sia proattivi che retroattivi.

1.2.1 Compito ongoing

Tipicamente, sia nei compiti di memoria prospettica svolti in laboratorio che nelle vere e proprie situazioni della vita quotidiana, durante l'intervallo di ritenzione dell'intenzione prospettica si è chiamati ad eseguire un'attività "*ongoing*". Negli studi sulla memoria prospettica per attività *ongoing* si intende l'esecuzione, in concomitanza del compito prospettico, di un compito di base che richiede l'impiego di risorse cognitive

per essere portato a termine. Eseguire un compito *ongoing* previene infatti la continua e consapevole ripetizione dell'intenzione prospettica durante il periodo di ritenzione.

Le caratteristiche del compito *ongoing* hanno degli effetti sulla performance nei compiti di memoria prospettica, per esempio un compito che richiede un elevato carico di risorse cognitive è associato a performance più scarse in compiti di memoria prospettica (Kidder, Park, Hertzog, & Morrell, 1997). Altri studi hanno dimostrato invece l'influenza opposta, ovvero sarebbe la performance nel compito *ongoing* a peggiorare a causa della presenza di un compito prospettico da eseguire simultaneamente (Guynn, 2003; Smith, 2003). Questo fenomeno è noto in letteratura come "effetto interferenza" (*task interference*; Hicks, Marsh, & Cook, 2005; Marsh, Hicks, & Cook, 2006) ed è determinato dalla divisione delle risorse attenzionali disponibili tra due compiti, l'*ongoing* ed il compito prospettico. L'effetto d'interferenza, dovuto alla presenza di un compito prospettico, si manifesta come declino nella prestazione ottenuta nel compito *ongoing*, rilevabile in termini di una maggiore latenza di risposta al compito (Marsh, Hicks, Cook, Hansen, & Pallos, 2003).

1.2.2 Monitoraggio strategico

Perché un'azione programmata venga svolta al momento giusto, è necessario monitorare l'ambiente. Il monitoraggio strategico consiste in una serie di processi mnestici ed attentivi reclutati rispettivamente al fine di monitorare l'ambiente in cerca del target e per mantenere attiva l'intenzione in memoria (McDaniel & Einstein, 2007). I processi di monitoraggio hanno però un costo in termini di risorse attenzionali, queste infatti devono essere impiegate nel monitoraggio ambientale, alla ricerca di un segnale che informi che è appropriato avviare l'azione prevista. Ci sono tuttavia alcune circostanze in cui è possibile recuperare l'intenzione prospettica spontaneamente (*spontaneous retrieval*) senza che avvenga un dispendio di risorse cognitive (McDaniel & Einstein, 2000). È necessario sottolineare quindi che il monitoraggio strategico differisce dal recupero spontaneo di un'intenzione, in quanto il primo fa affidamento su processi di tipo top-down, mentre il secondo fa maggiormente affidamento su processi di

recupero dell'intenzione automatici e bottom-up (McDaniel & Einstein, 2007; Scullin, McDaniel, & Shelton, 2013).

Nel modello di Guynn (2003) l'abilità di monitoraggio strategico viene suddivisa in due ulteriori processi: una componente che permette il recupero dell'intenzione (*retrieval mode*) ed una seconda componente preposta al controllo ambientale per rilevare il target (*target checking*). Dopo aver formulato un'intenzione, ci sarebbe infatti la tendenza comune a predisporre al recupero del contenuto di memoria prospettica. A questo punto, il sistema cognitivo è posto nella situazione transitoria di prontezza alla rilevazione degli stimoli ed all'identificazione del cue per il recupero dell'intenzione prospettica. Sembrerebbe inoltre che la predisposizione al recupero del contenuto dell'intenzione prospettica, essendo una predisposizione che si mantiene nel tempo, almeno finché non viene conclusa l'azione, sia responsabile solo in minima parte dell'effetto interferenza osservabile nel compito *ongoing*. L'importanza del modello di Guynn (2003) risiede nell'aver fornito una spiegazione circa il funzionamento del monitoraggio strategico nelle attività di memoria prospettica quotidiane (McDaniel & Einstein, 2007).

Il modello "*Test-Wait-Test-Exit*" (TWTE; Harris e Wilkins 1982) si propone come ulteriore strumento di approfondimento del funzionamento del meccanismo di monitoraggio strategico in un compito di memoria prospettica. Harris (1984) ha ipotizzato infatti che i costi attenzionali del monitoraggio strategico siano abbastanza elevati perché questo venga effettuato in maniera continua; perciò, in un compito di memoria prospettica le persone valuterebbero periodicamente la presenza delle giuste condizioni per eseguire l'azione programmata. Il modello prevede che vengano effettuati dei "test" intermittenti al fine di verificare se sia giunto il momento di agire o se invece sia necessario attendere ancora prima di eseguire l'azione. Se il "test" ha rilevato che è troppo presto per eseguire un'azione, segue allora un periodo di attesa, durante il quale l'attenzione viene nuovamente arretrata al compito *ongoing* ed al mantenimento dell'intenzione prospettica. Questo circolo di test-attesa viene interrotto solo quando, in seguito ad un test, viene rilevato che è appropriato compiere l'azione programmata.

1.2.3 Teoria del multiprocesso

La teoria del multiprocesso è stata avanzata al fine di spiegare quali variabili siano associate con il recupero spontaneo dell'intenzione e con i processi di monitoraggio (McDaniel & Einstein, 2000). Non sarebbe infatti ragionevole sostenere che per il recupero di intenzioni prospettiche sia necessario un monitoraggio preparatorio prolungato nel tempo (Smith, 2003). La natura del target è un elemento importante per determinare il tipo di processo che supporta il recupero dell'intenzione prospettica; tra i fattori che influiscono in un compito di memoria prospettica sono stati rilevati: la salienza del cue di memoria prospettica, la forza della relazione tra il cue e l'intenzione, la focalità del cue di memoria prospettica (ovvero, quanto le sue caratteristiche sono facilmente estratte dalle informazioni rilevanti al fine di eseguire il compito *ongoing*) e la richiesta cognitiva del compito *ongoing*. La teoria Dinamica del Multiprocesso (Scullin, McDaniel, & Shelton, 2013) ha avanzato l'ipotesi che ci sia, da parte degli individui, un dispiegamento dinamico sia dei processi che richiedono risorse attenzionali, come il monitoring, che dei processi richiedenti il recupero spontaneo. Il monitoraggio strategico verrebbe così chiamato in causa unicamente quando ci si aspetta che arrivi il cue prospettico, ad esempio in compiti prospettici da svolgere entro un intervallo temporale relativamente breve (Graf & Grondin, 2006). Quando il monitoraggio strategico viene disattivato, verrebbe attivato un meccanismo di recupero spontaneo che può supportare il ricordo prospettico.

1.3 Recupero dell'intenzione

Il recupero del contenuto di un'intenzione in corrispondenza di un particolare contesto prevede che vengano recuperate sia l'intenzione stessa di dover fare qualcosa che l'azione appropriata da svolgere. L'azione deve essere svolta in una circostanza particolare, conosciuta come "contesto di recupero" (Ellis, Kvavilashvili, & Milne, 1999). In base alle caratteristiche proprie del contesto di recupero, McDaniel & Einstein (1990) hanno distinto tra memoria prospettica basata sull'evento (*event-based*) e memoria prospettica basata sul tempo (*time-based*). Nelle condizioni richiedenti la memoria

prospettica *event-based* è il sopraggiungere di un evento specifico ad indurre il recupero dell'intenzione e quindi a far sì che l'azione prevista venga avviata. Nei compiti di memoria prospettica *time-based* è necessario invece svolgere un'azione in un preciso momento temporale futuro, perciò si è chiamati ad avviare in autonomia il processo di recupero ed esecuzione dell'intenzione formulata. I compiti di memoria prospettica *time-based* ed *event-based* sono simili nell'utilizzo della modalità di recupero del monitoraggio strategico, dato che entrambi richiedono che un'intenzione venga mantenuta attiva in memoria. D'altra parte, però i due compiti sono mediati da differenti meccanismi di *target checking*, che consiste nel monitoraggio ambientale nei compiti di tipo *event-based* e nel monitoraggio di un orologio esterno nei compiti *time-based*.

Per loro natura, i compiti di memoria prospettica basati sull'evento sono considerati come meno impegnativi dal punto di vista cognitivo rispetto ai compiti di tipo *time-based*, infatti un evento è qualcosa che accade al di fuori della volontà individuale e che funge da cue per il recupero del ricordo dell'intenzione da mettere in atto (McDaniel & Einstein, 1993; McDaniel, Guynn, Glisky, Rubin, & Routhieaux, 1999).

1.4 Esecuzione dell'intenzione

Il corretto avvio ed esecuzione dell'intenzione prefissata sono momenti determinanti per la sua realizzazione. Ci sono alcuni fattori che possono intervenire ed influire sul corretto svolgimento dell'intenzione prefissata, come ad esempio il sopraggiungere di circostanze esterne impreviste o la distrazione dovuta dalla presenza di stimoli interni od esterni durante l'esecuzione di un compito. Dopo aver verificato che la situazione presentatasi coincide con il contesto di recupero codificato, viene innescata l'esecuzione dell'azione. L'esecuzione dell'azione può richiedere da pochi secondi a diverso tempo per essere portata a termine, con la conseguenza che maggiore sarà la durata temporale necessaria per eseguire l'azione e più elaborati saranno i processi di codifica dell'intenzione richiesti.

Al termine dell'esecuzione dell'azione segue una valutazione della stessa, in cui è necessario effettuare un processo comparativo tra l'azione, l'intento ed il contesto che erano stati codificati precedentemente e quelli effettivi (Brandimonte, Einstein, &

McDaniel, 2014). L'azione prefissata è stata svolta correttamente quando è rilevabile una sufficiente sovrapposizione tra ciò che si era programmato di fare e quanto è stato realmente fatto. Può accadere che alcune intenzioni siano dimenticate e che quindi non vengano mai richiamate durante l'intervallo di esecuzione o che vengano sì richiamate, ma in un momento non appropriato per eseguire l'azione. Inoltre, è necessario registrare il risultato ottenuto dall'esecuzione dell'azione per prevenire ripetizioni non necessarie della stessa e per guidare le azioni future.

2. Basi Neurali della Memoria Prospettica

Sebbene siano state rilevate differenze a livello comportamentale tra i processi che mediano l'identificazione del cue ed il recupero dell'intenzione prospettica, studi di neuroimaging hanno riportato che in entrambe le condizioni viene rilevato il coinvolgimento della corteccia prefrontale anteriore (BA 10; Burgess, Quayle, & Frith, 2001; Burgess, Scott, & Frith, 2003; den Ouden, Frith, Frith, & Blakemore, 2005; Okuda, Fujii, Yamadori, Kawashima, Tsukiura, Fukatsu et al., 1998). L'attivazione bilaterale della corteccia prefrontale anteriore, che in larga parte corrisponde all'area 10 di Brodmann, è stata rilevata sia tramite studi PET (Burgess, Quayle, Frith, 2001; Okuda, Fujii, Yamadori, Kawashima, Tsukiura, Fukatsu, et al., 1998), che tramite studi effettuati su pazienti con lesioni specifiche della stessa (Burgess, Veitch, De Lacy Costello, Shallice, 2000). È stato rilevato che i compiti di memoria prospettica, se comparati a condizioni in cui il compito *ongoing* viene eseguito da solo, sono associati ad una maggiore attivazione della corteccia prefrontale anteriore laterale e alla conseguente deattivazione della corteccia prefrontale anteriore mediale (Burgess, Scott & Frith, 2003). L'attivazione laterale dell'area 10 di Broadmann è maggiore durante il recupero dell'intenzione prospettica, rispetto alla condizione di identificazione del cue di memoria prospettica (Simons, Schölvinck, Gilbert, Frith, & Burgess, 2006).

La maggiore attivazione dell'area di Broadman 10, associata recupero dell'intenzione, può essere interpretata in termini di una differenza nelle risorse attentive dedicate al processamento di stimoli generati internamente ed eventi esterni (Burgess, Simons, Dumontheil, & Gilbert, 2005; Gilbert, Frith, & Burgess, 2005). Infatti, nella fase

di detezione del cue prospettico è necessario prestare attenzione agli eventi esterni; una volta identificato il cue, è necessario poi spostare l'attenzione dagli stimoli esterni alle rappresentazioni interne, al fine di recuperare dalla memoria l'intenzione rilevante. L'attivazione della porzione mediale dell'area di Broadmann 10 sembrerebbe infatti essere associata al processamento di stimoli presentati esternamente (Gilbert, Frith, & Burgess, 2005), contrariamente l'attivazione della porzione laterale dell'area di Broadmann 10 sarebbe implicata nel mantenimento dell'attenzione su stimoli interni. Perciò la deattivazione della porzione mediale dell'area di Broadmann 10, osservabile durante un compito di memoria prospettica, riflette lo spostamento delle risorse attentive dagli stimoli esterni del compito *ongoing* e l'attivazione della porzione laterale dell'area di Broadmann 10 rifletterebbe invece la direzione delle stesse all'intenzione prospettica, internamente rappresentata.

Questa visione è stata concettualizzata all'interno di quella che viene conosciuta come "*Gateway Hypothesis*", in cui funzionamento della corteccia prefrontale rostrale (PFC) viene paragonato all'azione di una sorta di porta d'ingresso. La corteccia prefrontale rostrale (PFC) agirebbe infatti direzionando le risorse attentive da informazioni percettive provenienti dall'esterno a processi di pensiero interni connessi all'intenzione prospettica memorizzata (Burgess, Dumontheil, & Gilbert, 2007). Il pattern di attivazione e deattivazione della corteccia prefrontale anteriore (aPFC) permette quindi agli individui sia di mantenere attiva un'intenzione quando sono simultaneamente impegnati in un compito *ongoing* che di monitorare allo stesso tempo la presenza del cue nell'ambiente.

In particolare, questi risultati sono in linea anche con quanto emerso da studi elettrofisiologici, che hanno dimostrato la presenza di modulazioni nei potenziali evento relati (ERPs) sui siti prefrontali associati a processi di monitoraggio strategico (Cona, Arcara, Tarantino, & Bisiacchi, 2012). È interessante sottolineare che è stata rilevata una dissociazione all'interno della corteccia prefrontale anteriore dipendente dal tipo di compito prospettico svolto: lo svolgimento di un compito *event-based* sarebbe correlato con una maggiore attivazione della porzione superiore dell'area, è stata invece rilevata una maggiore attivazione della porzione inferiore della stessa area nella condizione *time-based* (Okuda, Fujii, Ohtake, Tsukiura, Yamadori et al., 2007). Inoltre, quando nella condizione *time-based* veniva richiesto di produrre una risposta al compito prospettico

senza l'aiuto di un dispositivo esterno, è stata rilevata l'attivazione della porzione superiore della corteccia prefrontale anteriore, rispetto alla condizione in cui il monitoraggio del tempo era facilitato dall'utilizzo di un cronometro.

È stata inoltre rilevata una dissociazione all'interno del network frontoparietale durante le fasi di mantenimento e recupero dell'intenzione prospettica. Nello specifico, il mantenimento di un'intenzione sembrerebbe essere associato ad una maggiore attivazione della corteccia parietale dorsale (dPC), in particolare del lobulo parietale superiore e del precuneo (BA 7, 19). L'attivazione del network frontoparietale dorsale media il monitoraggio strategico. La cattura dell'attenzione da parte del cue di memoria prospettica ed il recupero dell'intenzione sarebbero invece mediati dall'attività del network di aree frontoparietali ventrali e temporoparietali (Beck, Ruge, Walser, & Goschke, 2014; Kalpouzos, Eriksson, Sjölie, Molin, & Nyberg, 2010; McDaniel, LaMontagne, Beck, Scullin, & Braver, 2013). Queste evidenze sono in linea con quanto ipotizzato da due modelli di spicco: il modello "*Dual Attention*" (Corbetta & Shulman, 2002) ed il modello "*Attention to Memory*" (AtoM; Cabeza, Ciaramelli, Olson, & Moscovitch, 2008; Ciaramelli, Grady, Levine, Ween, & Moscovitch, 2010). Questi modelli prevedono infatti che i network frontoparietali dorsali e ventrali medino, rispettivamente, l'attenzione *top-down* e *bottom-up* diretta agli stimoli esterni (Corbetta & Shulman, 2002) o ai contenuti mnestici (Cabeza, Ciaramelli, Olson, & Moscovitch, 2008). Inoltre, la dissociazione neurale rilevata all'interno dei network frontoparietali fornisce evidenze a favore della distinzione proposta dalla teoria del multiprocesso tra monitoraggio strategico e recupero spontaneo (Einstein & McDaniel, 2005; McDaniel & Einstein, 2000; Scullin, McDaniel, & Shelton, 2013).

Il modello "*Attention to Delayed Intention*" (Cona, Scarpazza, Sartori, Moscovitch, & Bisiacchi, 2015) fornisce una spiegazione della dissociazione neurale rilevata tra il mantenimento dell'intenzione e la fase di recupero delle intenzioni di tipo prospettico. Secondo il modello il network frontoparietale dorsale sarebbe implicato nella fase di mantenimento dell'intenzione prospettica e medierebbe i processi di monitoraggio strategico, come l'allocazione dell'attenzione *top-down* sia agli stimoli esterni, per verificare la presenza di cue prospettici, che agli stimoli interni, per mantenere attiva l'intenzione in memoria. Il network frontoparietale ventrale sarebbe maggiormente implicato nella fase di recupero e sarebbe necessario per la cattura *bottom-up*

dell'attenzione da parte del cue prospettico esterno e, internamente, dall'intenzione immagazzinata in memoria. Insieme ad altre regioni cerebrali, come l'insula e la corteccia cingolata posteriore, il network frontoparietale supporterebbe il processo di recupero spontaneo.

È in qualche modo sorprendente che non siano state ancora rilevate attivazioni significative nelle regioni del lobo temporale mediale (MTL), come le aree dell'ippocampo e paraippocampali, dato il loro ruolo ben consolidato nella memoria retrospettiva (Moscovitch et al., 2005). Il coinvolgimento di tali regioni nella memoria prospettica è infatti ancora controverso, infatti alcuni studi riportano attivazioni di queste aree durante l'esecuzione di compiti prospettici (Okuda et al., 1998; Beck, Ruge, Walser, & Goschke, 2014) che non sono state invece rilevate da altri (McDaniel, LaMontagne, Beck, Scullin, & Braver, 2013).

3. Memoria Prospettica *Time-Based*

La caratteristica principale dei compiti di memoria prospettica basati sul tempo risiede nell'assenza di segnali esterni, che dovrebbero indicare il momento in cui è necessario recuperare l'intenzione prospettica per avviare l'esecuzione dell'azione programmata. Al fine di avviare l'azione nel momento appropriato, è possibile monitorare il passaggio del tempo tramite l'utilizzo, ad esempio, di dispositivi esterni. Alcuni hanno ipotizzato che la consultazione di un orologio sia paragonabile all'apparizione di un cue esterno, è stato tuttavia dimostrato che non tutti i cue esterni condividono la stessa efficacia (McDaniel & Einstein, 1993). Le proprietà percettive del cue possono fare la differenza, ad esempio segnali grandi e rumorosi sono più efficaci, ai fini del recupero dell'intenzione dalla memoria, di segnali piccoli o più deboli, così come cue presentati al centro del campo visivo sono più efficaci di cue presentati perifericamente. Sarebbe quindi opportuno distinguere i compiti di memoria prospettica *time-based* dai compiti di memoria prospettica *event-based* sulla base della prevedibilità o della prossimità del segnale per il recupero dell'intenzione prospettica formulato (Graf & Grondin, 2006).

È necessario investire una quota di risorse cognitive al fine di richiamare periodicamente alla memoria l'azione prevista e per monitorare il passaggio tempo (McDaniel & Einstein, 2000). Numerosi studi hanno confermato il coinvolgimento delle funzioni esecutive nei compiti di memoria prospettica *time-based* e la presenza di differenze nella performance dipendenti da differenze individuali legate a determinati fattori, come l'età (Mäntylä & Carelli, 2006; Martin, Kliegel, & McDaniel, 2003). In particolare, è stato rilevato che in un compito di memoria prospettica *time-based* sono maggiormente coinvolte l'abilità di aggiornamento dei contenuti mnestici, che influisce sull'accuratezza di risposta al compito prospettico, e l'abilità d'inibizione di informazioni irrilevanti, che è coinvolta nelle strategie di monitoraggio (Einstein, McDaniel, Richardson, Guynn, & Cufer, 1995). È stato dimostrato inoltre che la strategia di monitoraggio più efficace prevede la consultazione di un orologio esterno (Graf & Grondin, 2006), in grado di restituire *feedback* sul tempo passato fino a quel momento. Generalmente, in un compito di memoria prospettica *time-based* effettuato in un contesto di laboratorio, ai partecipanti può essere data la possibilità di consultare un cronometro, che può essere limitata o meno ad un numero di consultazioni massime in base agli obiettivi dello studio sperimentale.

In un compito di memoria prospettica *time-based*, secondo il modello *Test-Wait-Test-Exit* (Harris & Wilkins, 1982), avverrebbe quindi una progressiva sincronizzazione del proprio orologio interno con un orologio esterno. Inizialmente, per tenere traccia del tempo trascorso, si farebbe maggiore affidamento sull'orologio interno; a mano a mano che ci si avvicina al momento target, in cui è necessario mettere in atto l'azione prefissata, ci sarebbe uno switch e si farebbe maggiore affidamento sull'orologio esterno, al fine di produrre una risposta con la maggiore accuratezza possibile.

Un'esecuzione accurata è tipicamente caratterizzata da un aumento di consultazioni dell'orologio esterno all'avvicinarsi del periodo critico in cui è necessario produrre una risposta (Einstein, McDaniel, Richardson, Guynn, & Cufer, 1995; Mäntylä, Carelli, & Forman, 2007). Al contrario, maggiori tempi di risposta ed errori sono associati ad un basso tasso di monitoraggio temporale nel periodo critico precedente al momento target (Atkin & Cohen, 1996). Un monitoraggio efficiente necessita perciò che venga effettuata una programmazione strategica delle azioni e richiede anche che venga

raggiunto un equilibrio tra il costo del monitoraggio ambientale ed il costo di avere delle informazioni imprecise sull'ambiente (Mäntyla & Carelli, 2006).

L'effetto interferenza dovuto all'esecuzione di un duplice compito sembrerebbe essere meno marcato nei compiti di memoria *time-based*, rispetto ai compiti di memoria *event-based* (Jäger & Kliegel, 2008). Sebbene i compiti di memoria prospettica *time-based* richiedano di avviare autonomamente il comportamento al fine di svolgere l'azione, la produzione di un effetto interferenza più moderato può essere spiegata dal fatto che i target di un compito di memoria prospettica *time-based* non sono presenti nel compito *ongoing*. Inoltre, è necessario sottolineare che in un compito prospettico basato sul tempo, in cui il cue di memoria prospettica è intrinsecamente prevedibile, è possibile mettere in atto il monitoraggio temporale in maniera periodica e scegliere autonomamente quando consultare l'orologio. Al contrario, in un compito prospettico *event-based* il sopraggiungere dello stimolo target non è in alcun modo controllabile dagli individui, dunque si è chiamati a mettere in atto un processo di monitoraggio continuo dell'ambiente per rilevare la presenza del cue prospettico (Cona, Arcara, Tarantino, & Bisiacchi, 2015). L'ipotesi che un compito prospettico *time-based* sia caratterizzato da una frequenza diversa nei processi di monitoraggio, rispetto ai compiti di tipo *event-based*, è in linea con le ipotesi avanzate da Harris e Wilkins (1982).

3.1 Memoria prospettica *time-based* e percezione del tempo

Nonostante l'etichetta "*time-based*" faccia immediatamente pensare ad un coinvolgimento delle abilità temporali nelle prestazioni richiedenti il coinvolgimento delle abilità di memoria prospettica basata sul tempo, fino ad ora sono stati condotti pochi studi in merito. Da un primo studio di Goldstein e Leshem (2005) è emerso infatti che la capacità di stimare il passaggio del tempo sia implicata nei compiti di memoria prospettica di tipo *time-based*. Sono state infatti rilevate evidenze a supporto della visione di Block & Zakay (2006), secondo la quale gli stessi processi di stima temporale, che richiedono risorse attentive, coinvolti nei compiti di stima temporale di tipo prospettico siano coinvolti anche in compiti di memoria prospettica *time-based* (Waldum & Sahakyan, 2013). In particolare, l'effetto interferenza osservabile nel compito *ongoing*,

in seguito all'esecuzione simultanea di un compito di memoria prospettica *time-based*, aumenterebbe come conseguenza dell'allocazione di risorse attentive al processo di monitoraggio temporale. Labelle, Graf, Grondin & Gagné-Roy (2009) hanno rilevato che le risposte ad un compito di memoria prospettica *time-based* sono state fornite con maggiore accuratezza quando i partecipanti sono stati messi nella condizione di consultare un orologio esterno, rispetto a quando non veniva data loro questa possibilità. Dunque, quando non si ha la possibilità di fare affidamento su un dispositivo esterno per il monitoraggio temporale si farebbe maggiore affidamento sull'orologio interno, richiedendo quindi l'impiego di maggiori risorse attentive, che si riflette in aumento dei tempi di reazione al compito *ongoing*.

Il modello di Block & Zakay (2006) prevede che una performance accurata in un compito di memoria prospettica *time-based* richieda che le risorse attentive vengano attivamente dedicate al monitoraggio temporale. Il modello fornisce infatti una descrizione accurata del processo di recupero del ricordo prospettico qualora il momento target in cui è necessario compiere l'azione sia della durata dell'ordine dei minuti o dei secondi. In linea con la teoria dell'*Attentional Gate* (Block & Zakay, 2006), ogni volta che i partecipanti monitorano un orologio esterno, effettuerebbero una sincronizzazione del loro orologio interno con il dispositivo esterno, accumulando così nuovi impulsi nel pacemaker, ciò permette loro di effettuare comparazioni e stimare il tempo prima di effettuare un nuovo controllo dell'orologio esterno (Mioni & Stablum, 2013). Non solo le risorse attentive sono implicate nella stima temporale di tipo prospettico, ma anche la memoria episodica avrebbe un ruolo sia nei compiti di stima temporale prospettica che nei compiti di memoria prospettica *time-based* (Waldum & Sahakyan, 2013).

La percezione temporale sarebbe quindi implicata nel comportamento che guida il controllo dell'orologio esterno e nelle strategie di monitoraggio utilizzate per raggiungere l'obiettivo prefissato (Mioni, Stablum, McClintock, & Cantagallo, 2012). Labelle et al. (2009) non hanno infatti rilevato correlazioni significative tra l'accuratezza di risposta rilevata in un compito di memoria prospettica *time-based* e la performance in un compito di produzione temporale, concludendo che i due compiti richiedono effettivamente abilità temporali diverse. Tuttavia, gli autori hanno rilevato correlazioni significative tra la percezione temporale e la frequenza di monitoraggio dell'orologio esterno nel compito *time-based*. L'accuratezza di risposta al compito di memoria

prospettica sarebbe principalmente associata con la componente mnestica dei compiti di memoria prospettica (Labelle, Graf, Grondin, & Gragné-Roy, 2009).

Dunque, abilità temporali adeguate sono necessarie per eseguire accuratamente un compito di memoria prospettica *time-based*. In particolare, è stato visto infatti come persone sane con abilità temporali inferiori tendano a monitorare in maniera più assidua l'orologio esterno, richiedendone una consultazione meno strategica e con maggiore frequenza, rispetto a coloro che hanno abilità temporali più sviluppate (Mioni & Stablum, 2013). Inoltre, non solo le abilità di stima temporale, ma anche le funzioni esecutive sono correlate con la performance in un compito di memoria prospettica *time-based*. I partecipanti con delle abilità migliori di inibizione ed aggiornamento dei piani ottengono performance migliori nei compiti di memoria prospettica *time-based*, infatti la frequenza di monitoraggio correla negativamente con queste abilità (Mioni, Stablum, McClintock, & Cantagallo, 2012).

4. Ipotesi

Le evidenze riportate sottolineano quindi l'influenza esercitata dalle abilità temporali nell'esecuzione di compiti di memoria prospettica *time-based*. L'obiettivo del presente studio è quello di indagare se le abilità di riproduzione e bisezione temporale possano correlare con la performance in un compito di memoria prospettica *time-based*. Abbiamo inoltre ipotizzato che il conseguimento di prestazioni migliori nei compiti di bisezione e riproduzione temporale sia correlato con la frequenza di monitoraggio nel compito di memoria prospettica *time-based*. Pertanto, sono stati svolti tre compiti comportamentali: un compito di bisezione temporale, un compito di riproduzione temporale ed un compito di memoria prospettica *time-based*.

CAPITOLO III

Lo Studio Sperimentale

1. Metodo

1.1 Partecipanti

Hanno preso parte allo studio 50 studenti dell'Università degli Studi di Padova (16 maschi e 34 femmine) di età compresa tra i 18 ed i 35 anni ($M= 21,5$; $DS=1,81$). I partecipanti sono stati informati sulla procedura sperimentale e hanno successivamente firmato un modulo cartaceo di consenso informato. Prima di prendere parte all'esperimento, è stato chiesto a ciascun partecipante di compilare online la scheda anamnestica con i propri dettagli personali e l'*Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971), un questionario utilizzato per calcolare l'indice di preferenza manuale di ciascuno (mancini= 4; ambidestri= 7; destrimani= 39). La compilazione della scheda anamnestica è stata utile per verificare che coloro che intendevano prendere parte all'esperimento fossero di madrelingua italiana, che avessero capacità visive nella norma e che non soffrissero di patologie neurologiche né psichiatriche. Tutti i partecipanti hanno ricevuto un compenso monetario pari a 13 € per la partecipazione all'esperimento. L'intera sessione sperimentale è stata svolta tramite un PC, utilizzando il monitor per presentare i compiti e richiedendo al partecipante di utilizzare la tastiera per fornire le risposte. Ciascuno dei partecipanti era seduto ad una distanza di sessanta centimetri circa dallo schermo.

2. Procedura

Tutti i partecipanti sono stati testati in una stanza silenziosa all'interno del Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università degli Studi di Padova. La durata media di ciascuna sessione sperimentale è stata di 60 minuti circa. I partecipanti erano

chiamati a svolgere tre compiti sperimentali in successione, tutti coloro che hanno preso parte all'esperimento hanno svolto i compiti nello stesso ordine. Al fine di valutare le abilità temporali, è stato proposto in primis un compito di bisezione temporale e successivamente un compito di riproduzione temporale. La memoria prospettica *time-based* è stata valutata proponendo un compito in cui veniva richiesto al partecipante di premere un pulsante ogni 2 minuti, a ciascuno è stata data la possibilità di consultare un cronometro esterno per un numero limitato di possibilità. Il compito *ongoing* è stato proposto in due modalità: ad alto e basso carico cognitivo. Inoltre, il compito *ongoing* è stato proposto come *baseline*, prima di introdurre le istruzioni del compito prospettico, al fine di evitare potenziali effetti d'interferenza delle istruzioni del compito prospettico nell'esecuzione del compito *baseline* (Chen, Huang, Jackson, & Yang, 2009). Questa scelta nasce dal fatto che ci sarebbe una tendenza a fare uso del monitoraggio strategico anche quando le intenzioni prospettiche non sono più rilevanti per l'esecuzione del compito (Marsh, Hicks, Cook, 2006; West, McNerney, Travers, 2007). Al fine di evitare ogni tipo di contaminazione di questo tipo, le istruzioni del compito prospettico sono state fornite solo dopo aver acquisito familiarità con il compito di *baseline*.

2.1 Compito di bisezione temporale

Il compito di bisezione temporale è stato originariamente utilizzato da Church e Deluty (1977) per lo studio delle abilità di discriminazione temporale nei ratti e successivamente adattato allo studio delle abilità temporali negli umani (Wearden, 1991; Allan & Gibbon, 1991). Il compito proposto nel presente studio si divideva in una prima fase di training effettuato sugli stimoli di riferimento ed una successiva fase di test. Durante la fase di training sullo schermo comparivano degli stimoli circolari, ovvero dei cerchi blu con diametro di 4,5 centimetri, per un intervallo temporale breve (2 secondi) o lungo (8 secondi). Per ciascuno stimolo il partecipante era chiamato a premere il tasto "B" della tastiera del computer, se riteneva che lo stimolo fosse comparso per una durata temporale breve; al contrario, se stimava che la durata temporale con cui lo stimolo era comparso sullo schermo fosse lunga, era istruito a rispondere premendo la lettera "L". La fase di training del compito si componeva di un blocco di 10 prove, comprendenti 5

intervalli standard brevi e 5 intervalli standard lunghi, presentati in ordine randomizzato. Dopo ciascun trial al partecipante veniva fornito un *feedback* di risposta.

Seguiva poi la fase test del compito, in cui lo stesso stimolo circolare della fase training compariva al centro dello schermo del computer per una fra sette durate temporali differenti (2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000 secondi). Ciascuno dei sette intervalli temporali veniva presentato a ciascun partecipante per otto volte, in ordine randomizzato, per un totale di 56 trial totali. Per ciascuno stimolo il partecipante era chiamato ad indicare se questo fosse apparso per una durata temporale che riteneva essere più simile allo standard temporale breve, dunque era istruito a rispondere premendo il tasto “B”, o se riteneva che questa fosse più simile allo standard temporale lungo, allora doveva premere il tasto “L”. Nella fase di test al partecipante non è stato fornito alcun *feedback* di risposta.

2.2 Compito di riproduzione temporale

Il compito prevedeva la comparsa di uno stimolo circolare al centro dello schermo per una precisa durata temporale (4000, 9000 o 1400 millisecondi). Ciascun intervallo temporale è stato presentato per 4 volte, in ordine controbilanciato, per un totale di 12 stimoli somministrati a ciascun partecipante. Dopo 2 secondi dalla scomparsa dello stimolo circolare, compariva sullo schermo un punto interrogativo di colore bianco a segnare la fine dell'intervallo temporale di presentazione dello stimolo target. Il compito del partecipante era quello di riprodurre l'esatta durata temporale con cui il cerchio bianco appena visto era rimasto sullo schermo del PC. Al fine di riprodurre la durata temporale, al partecipante veniva richiesto di premere la barra spaziatrice della tastiera del computer con l'indice della mano dominante e di rilasciare la barra non appena riteneva di aver riprodotto accuratamente l'intervallo temporale. Per prevenire strategie messe in atto al fine di contare (Baudouin, Vanneste, Pouthas, & Isingrini, 2006), delle cifre apparivano al centro dello schermo ed i partecipanti erano chiamati a leggerle a voce alta. Le cifre andavano da 1 a 9 ed erano presentate in maniera casuale con un intervallo inter-stimolo che variava dai 400 ai 1000 millisecondi (Baudouin, Vanneste, Pouthas, & Isingrini, 2006). Non appena veniva interrotta la pressione esercitata sulla barra spaziatrice, le cifre

scomparivano ed appariva sullo schermo un indice temporale, espresso in millisecondi, indicante la durata complessiva di pressione della barra spaziatrice.

2.3 Compito *ongoing*

I partecipanti hanno svolto lo stesso compito in un primo momento come *baseline* e successivamente, dopo aver ricevuto le istruzioni del compito prospettico, come compito *ongoing*. Al partecipante è stato richiesto di effettuare la ricerca visiva di uno stimolo target (cerchio rosso) situato tra distrattori, lettere bianche e figure geometriche di colore verde o rosso. Gli stimoli erano disposti sullo schermo in maniera irregolare ed era presente una linea bianca verticale posta ad indicare il centro dello schermo. La schermata con gli stimoli appariva per 1.5 secondi. Per ogni prova il partecipante era chiamato a segnalare se il target si trovasse sulla parte destra o sinistra del monitor. Nel caso in cui il target fosse comparso nella parte destra dello schermo, veniva richiesto di rispondere premendo il tasto rosso di destra della tastiera; se invece lo stimolo target si trovava nella porzione sinistra dello schermo, era richiesto di rispondere premendo il tasto rosso di sinistra. Al fine di garantire una congruenza spaziale tra la posizione del target sullo schermo ed il tasto di risposta della tastiera, sono stati posizionati degli adesivi circolari di colore rosso per contrassegnare i tasti di risposta. È stato quindi posto un adesivo rosso sul tasto “Z” della tastiera, indicandolo come “tasto di destra” ed un ulteriore adesivo rosso sul tasto “M”, indicandolo come “tasto sinistro”.

Lo stesso compito è stato proposto anche come compito *ongoing*, svolto in concomitanza del compito di memoria prospettica *time-based*. Dopo aver fornito le istruzioni del compito prospettico, ai partecipanti veniva richiesto di continuare a svolgere il compito di ricerca del cerchio rosso tra distrattori e sono stati mantenuti i medesimi tasti di risposta del compito di *baseline*. Nel compito di memoria prospettica *time-based* sono stati proposti quattro blocchi complessivi, per un totale di 144 trials svolti da ciascun partecipante. Tra blocchi si alternavano rispettivamente due condizioni: una condizione ad alto carico cognitivo ed una condizione a basso carico cognitivo. Nella prima condizione lo stimolo target si trovava tra distrattori, che potevano essere più figure geometriche con la stessa forma o con lo stesso colore del target, in particolare erano

presenti: quattro cerchi verdi, quattro quadrati rossi e due quadrati verdi. Nella condizione a basso carico cognitivo lo stimolo target si trovava tra figure geometriche che per la maggior parte non ne condividevano le caratteristiche percettive, queste erano: un cerchio verde, un quadrato rosso ed otto quadrati verdi.

2.4 Compito di memoria prospettica *time-based*

I partecipanti erano istruiti a segnalare il passaggio del tempo premendo un tasto della tastiera del computer ogni 2 minuti dall'inizio del compito. Per registrare la risposta al compito prospettico i partecipanti sono stati istruiti a premere il tasto "X" della tastiera, contrassegnato con un cerchio di colore verde. Dunque, la richiesta fornita al partecipante era la seguente: "ricorda di premere il tasto verde, dall'inizio del compito, ogni due minuti". Per monitorare il tempo trascorso, in qualsiasi momento durante l'esecuzione del compito i partecipanti avevano la possibilità di premere un altro tasto per veder apparire un cronometro, indicante il tempo trascorso fino a quel momento. Il cronometro appariva al centro dello schermo per 3 secondi. Per richiedere la visualizzazione del cronometro era necessario premere il tasto "C" della tastiera, contrassegnato con un adesivo circolare di colore giallo. Per ogni intervallo di 2 minuti veniva data la possibilità di consultare il cronometro al massimo per cinque volte. Le possibilità di consultazione del cronometro si ripristinavano ogni 2 minuti, quindi all'inizio di ciascun intervallo temporale. Una volta esaurite le richieste di consultazione del cronometro per ciascun intervallo temporale, al partecipante non è più stata data la possibilità di visualizzare l'orologio fino all'intervallo successivo. I partecipanti sono stati istruiti a richiedere la consultazione dell'orologio liberamente, ogni qualvolta ne avessero bisogno. Al partecipante non sono stati forniti *feedback* circa la correttezza della risposta fornita. In seguito alla pressione del tasto di risposta al compito prospettico, il partecipante sentiva uno stimolo acustico indicante la registrazione della risposta. Il compito prevedeva la presenza di quattro blocchi della durata di 5 minuti ciascuno, al termine di veniva data la possibilità di effettuare una pausa. La performance al compito di memoria prospettica *time-based* è stata valutata in termini di accuratezza di risposta al compito prospettico (accuratezza di risposta al momento target), frequenza di monitoraggio (numero di

consultazioni dell'orologio effettuate) e performance al compito *ongoing* (valutazione dei tempi di reazione nel compito di ricerca del cerchio rosso).

3. Risultati

3.1 Bisezione temporale

Dai dati derivanti dalla prestazione dei partecipanti al compito di bisezione temporale è possibile costruire una funzione psicometrica, considerando la durata degli stimoli e la probabilità che il soggetto ha di rispondere “lungo” come funzione della durata temporale degli stessi (vedi Figura 1; $M= 0.516$; $DS= 0.123$). Da questa funzione è possibile determinare il punto di bisezione” o “punto di indifferenza” (Allan & Gibbon, 1991; Church & Deluty, 1977; Gibbon & Church, 1981; Siegel & Church, 1984; Wearden, 1991), ovvero il punto in corrispondenza del quale i partecipanti hanno risposto “breve” o “lungo” con la stessa probabilità. Dall’analisi dei dati è emerso che il punto di bisezione medio del campione considerato è pari a 4587 secondi ($DS= 1007,88$). Dalla stessa funzione psicometrica è possibile determinare anche il grado di sensibilità del soggetto nel discriminare tra gli stimoli sonda e classificarli poi come “brevi” o “lunghi”, ovvero la “Weber ratio” o “frazione di Weber” (Gibbon, 1977). La Figura 2 mostra la distribuzione dei risultati derivanti dalla stima della Weber ratio per ciascun partecipante ($M= 177$; $DS= 137$). Sono stati inoltre rilevati i tempi di reazione con cui i partecipanti hanno fornito la risposta al compito ($M= 893, 430$; $DS= 301,156$).

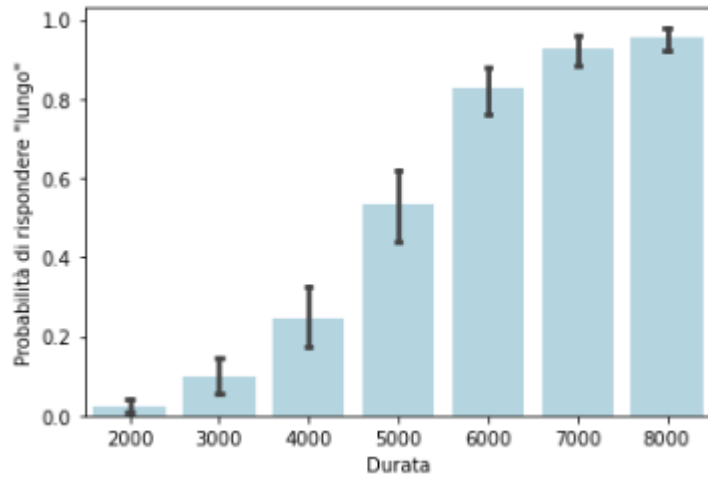


Figura 1: Rappresentazione della probabilità con cui i partecipanti hanno risposto “lungo” in funzione della durata degli stimoli

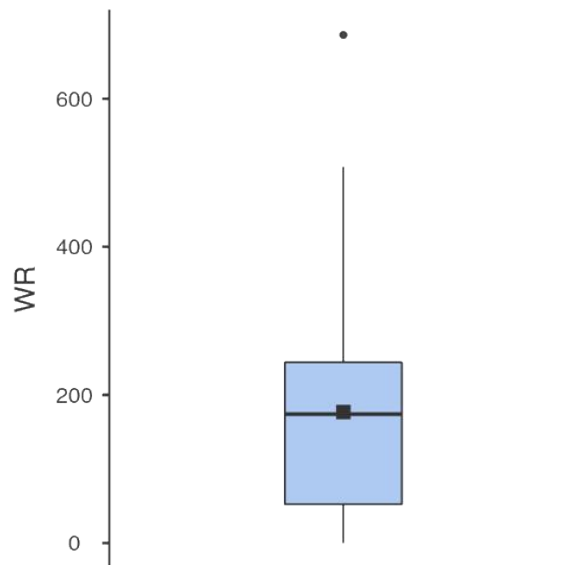


Figura 2: Rappresentazione grafica della distribuzione dei valori ottenuti dalla stima della frazione di Weber (WR)

3.2 Riproduzione temporale

La performance al compito di riproduzione temporale è stata analizzata considerando il rapporto tra la durata stimata e la durata effettiva (RATIO), l'errore assoluto ed il coefficiente di variazione (CV). La RATIO è stata ottenuta dividendo la durata temporale riprodotta dal partecipante (Rd) per la durata temporale del trial specifico considerato [$RATIO = Rd / Td$]. Calcolare la RATIO permette infatti di ottenere un indice della direzione degli errori, con coefficienti superiori od inferiori ad 1.0, indicativi rispettivamente di sovra-riproduzione o sotto-riproduzione della durata. L'errore assoluto è stato calcolato considerando il valore assoluto della differenza tra la riproduzione temporale (Rd) e la durata dello stimolo target (Td), espresse in secondi, diviso la durata target [$AE = |Rd - Td| / Td$]. L'analisi dell'errore relativo ha rilevato una tendenza alla sovra-riproduzione degli intervalli di 4000 millisecondi e a sotto-riprodurre invece gli intervalli di 14000 millisecondi (vedi Figura 3). La Figura 4 riporta la distribuzione dei dati derivanti dalla stima dell'errore assoluto per ciascun partecipante ($M= 0.26$; $DS=0.09$). Il coefficiente di variazione (Perbal, Couillet, Azouvi, & Pouthas, 2003) è stato calcolato come il rapporto tra la deviazione standard (DS) e la media delle riproduzioni effettuate, espresse in secondi (vedi Tabella 1). Il coefficiente di variazione esprime la variabilità dei giudizi temporali per ciascun partecipante e valuta la coerenza rilevabile nelle prestazioni temporali in riferimento alla stessa durata temporale target. Sono stati inoltre rilevati i tempi di reazione medi (TR) con cui tutti i partecipanti hanno fornito una risposta al compito, ovvero il momento in cui hanno iniziato a premere la barra spaziatrice per riprodurre la durata ($M= 4848,43$; $DS= 1964, 46$).

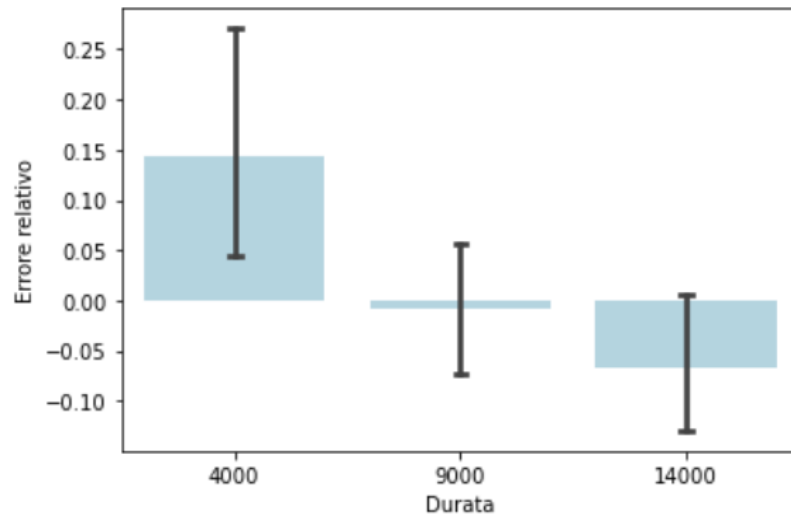


Figura 3: Errore relativo calcolato per ciascuna durata temporale riprodotta

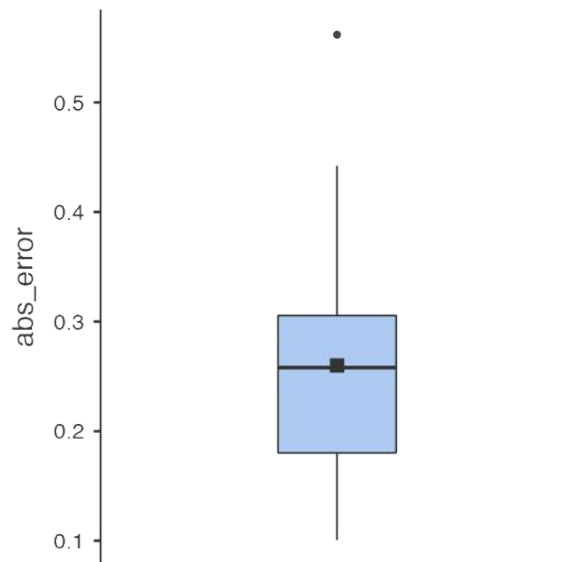


Figura 4: Rappresentazione grafica della distribuzione dei valori ottenuti dalla stima dell'errore assoluto (absolute error)

Tabella 1

Dati relativi al Coefficiente di variazione calcolato come rapporto tra la Deviazione standard e la media del tempo di pressione della barra spaziatrice

	Release Time
Media	8693,477 s
Deviazione standard	2383,988
<i>Coefficiente di variazione</i>	0,522

3.3 Compito di memoria prospettica *time-based*

Per analizzare la performance nel compito di memoria prospettica *time-based*, abbiamo considerato l'accuratezza di risposta al momento target, ritenendo la prestazione corretta qualora la risposta sia stata fornita dal partecipante entro i 10 secondi prima o dopo del momento target (Einstein, McDaniel, Richardson, Guynn, & Cunfer 1995; Mioni, Stablum, McClintock, & Cantagallo, 2012). Il comportamento di monitoraggio è stato analizzato invece come numero di volte in cui è stato richiesto di consultare il cronometro esterno (vedi Tabella 2). Abbiamo preso in considerazione, inoltre l'indice di monitoraggio strategico, considerando come consultazioni "strategiche" tutte le volte che è stata richiesta la visualizzazione del cronometro dopo i 72 secondi dall'inizio dell'intervallo temporale di 120 secondi complessivi e come consultazioni "non strategiche" tutte le volte in cui il cronometro è stato visionato entro i 72 secondi dall'inizio dell'intervallo (adattato da Mioni, Stablum, McClintock, & Cantagallo, 2012). L'accuratezza di risposta al compito di ricerca visiva è stata valutata in termini di numero di identificazioni corrette dello stimolo target effettuate, per ciascun partecipante è stata considerata sia la prestazione al compito di baseline che la prestazione al compito *ongoing*. Sono stati presi in considerazione anche i tempi di reazione al compito di ricerca visiva sia nella condizione in cui il compito è stato eseguito come *baseline* che nella condizione *ongoing*.

Tabella 2

Media e deviazione standard del numero dei check dell'orologio per ogni blocco

	Media	Deviazione Standard
Blocco 1	11.10	4.98
Blocco 2	11.74	4.68
Blocco 3	11.62	4.61
Blocco 4	11.78	4.39
<i>Check totali</i>	46.24	16.61

3.3.1 Performace al compito ongoing

Per la valutazione della prestazione al compito ongoing sono stati considerati sia il livello di accuratezza nella produzione delle risposte al compito che i tempi di reazione di ciascun partecipante. Avendo testato lo stesso gruppo di partecipanti in due momenti differenti, per effettuare le analisi statistiche abbiamo utilizzato il t-test per dati appaiati. Per verificare la presenza di una differenza statisticamente significativa tra la media dei tempi di reazione in risposta al compito di *baseline* e la media dei tempi di risposta al compito *ongoing*, è stata utilizzato il test t di Student. Come misura della dimensione dell'effetto (*effect size*) è stata calcolata il d di Cohen. In media è stato rilevato un aumento dei tempi di reazione tra *baseline* e compito *ongoing* in risposta al compito di ricerca visiva dello stimolo target tra distrattori, $t(49) = -17.09$; $p < .001$, $d = -2.42$. Dal confronto tra la media dell'accuratezza di risposta fornita al compito di ricerca visiva proposto come *baseline* e la media dell'accuratezza di risposta allo stesso compito proposto come *ongoing* emerge una differenza statisticamente significativa, $t(49) = 4.50$; $p < .001$; $d = 0.64$ (vedi Tabella 3). La differenza rilevata sia nell'accuratezza che nei tempi di reazione è chiamata "*PM cost*" ed è il prodotto dell'effetto interferenza causato dallo svolgimento del compito di ricerca visiva in concomitanza al compito prospettico.

È emerso che nella condizione *ongoing* ad alto carico cognitivo i tempi di reazione dei partecipanti al compito hanno subito un aumento significativo, rispetto alla condizione

a basso carico, $t(49) = -16.39$; $p < .001$; $d = -2.32$). È risultata significativa anche la differenza rilevata nell'accuratezza di risposta al compito *ongoing* tra blocchi *ongoing* ad alto e basso carico cognitivo, $t(49) = 4.92$; $p < .001$; $d = 0.70$). Nei blocchi *ongoing* ad alto carico cognitivo è stata rilevata anche una differenza significativa nel numero di consultazioni dell'orologio effettuate, rispetto ai blocchi *ongoing* a basso carico, $t(49) = -2.85$; $p = .006$; $d = 0.40$). Non sono risultate significative le differenze rilevate nell'accuratezza di risposta al compito prospettico tra blocchi *ongoing* ad alto e basso carico cognitivo, $t(49) = 0.09$; $p = .93$; $d = -0.01$).

Tabella 3

Accuratezza e tempi di reazione riportati nello svolgimento del compito di ricerca visiva come baseline e come ongoing

	Accuratezza	Tempi di Reazione
<i>Baseline</i>	0.98 (0.01)	591 (84.7)
<i>Ongoing</i>	0.96 (0.04)	772 (118)
<i>PM cost</i>	-0.02	181,42

3.3.2 Accuratezza di risposta al compito prospettico

Ai partecipanti è stato richiesto di premere un tasto ogni due minuti mentre erano chiamati a svolgere un compito *ongoing*, suddiviso a sua volta in quattro blocchi della durata di 5 minuti ciascuno. È stata rilevata un'accuratezza media di risposta al compito prospettico elevata ($M = 0.77$; $DS = 0.21$). I dati hanno permesso di rilevare un aumento dell'accuratezza di risposta al compito di memoria prospettica *time-based* dal primo blocco ai successivi (vedi Figura 5). L'indice di correlazione lineare r di Pearson è stato utilizzato per verificare la presenza di eventuali correlazioni tra l'accuratezza di risposta al compito di prospettico *time-based* e le variabili prese in considerazione. L'indice di correlazione fornisce infatti informazioni circa la forza e la direzione della correlazione

tra le due variabili quantitative. È stato calcolato l'indice r di Pearson per valutare la relazione tra l'indice di accuratezza di risposta al compito di memoria prospettica e la frazione di Weber, ovvero l'indice di sensibilità che fornisce informazioni sulla precisione con cui ciascun partecipante ha fornito la stima temporale. Dalle analisi effettuate non è emersa una correlazione statisticamente significativa tra i due indici, $r(48) = -.13; p = 0.37$ (vedi Figura 6). Le analisi hanno permesso di rilevare la presenza di una correlazione significativa tra l'accuratezza di risposta al compito prospettico e l'errore assoluto (*absolute error*), ovvero l'indice di errore ricavato considerando la prestazione al compito di riproduzione temporale. Tra le due variabili quantitative c'è una relazione lineare negativa moderata, $r(48) = -.31; p = .03$ (vedi Figura 7).

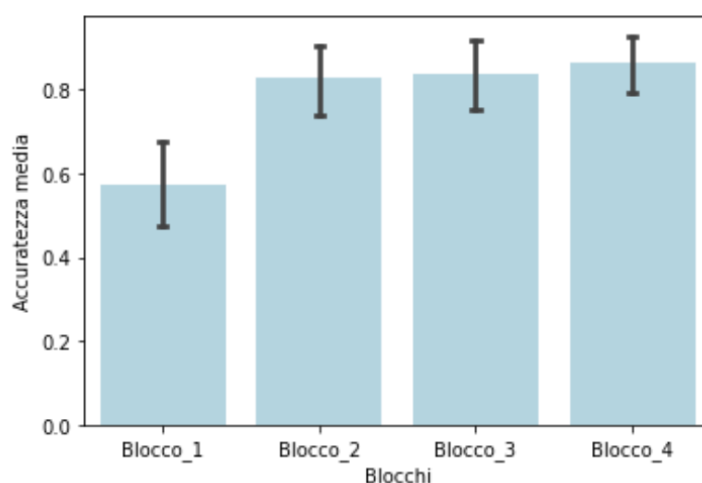


Figura 5: Incremento dell'accuratezza di risposta al compito prospettico tra blocchi

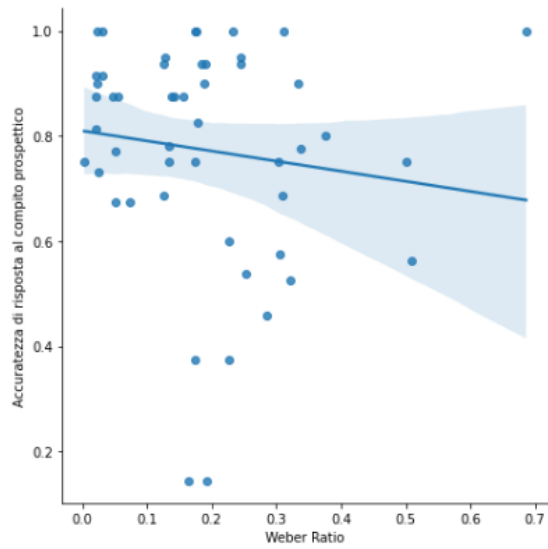


Figura 6: Assenza di correlazione tra l'accuratezza di risposta al compito prospettico e la Weber ratio

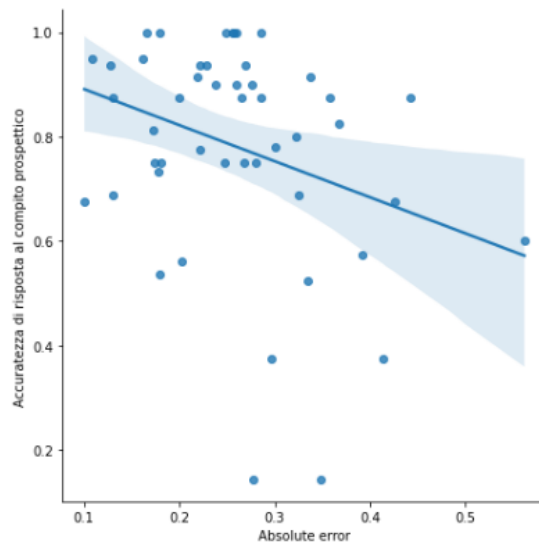


Figura 7: Correlazione negativa tra l'accuratezza di risposta al compito di memoria prospettica e l'errore assoluto (absolute error)

3.3.3 Monitoraggio strategico

È stata rilevata una correlazione significativa tra l'accuratezza di risposta al compito prospettico ed il numero medio di consultazioni dell'orologio effettuate dal partecipante nei quattro blocchi, $r(48)=.53$; $p < .001$ (vedi Figura 8). Considerando il numero complessivo di consultazioni dell'orologio all'interno di ciascun intervallo temporale, è stato calcolato l'indice di monitoraggio strategico, ovvero la proporzione con cui in tutta la performance il partecipante ha richiesto di visualizzare il cronometro in modo strategico, cioè dopo i 72 secondi dall'inizio dell'intervallo temporale. La proporzione media con cui la consultazione dell'orologio esterno è avvenuta in maniera strategica è pari a 27.62 ($DS= 10.52$). Considerando il totale delle consultazioni del cronometro, è stato calcolato anche l'indice di consultazioni dell'orologio nella prima porzione dell'intervallo temporale, prima dei 72 secondi ($M= 18,62$; $DS= 8, 383$). Le analisi hanno rilevato la presenza di una correlazione significativa tra l'indice di monitoraggio strategico calcolato a partire dal numero di consultazioni dell'orologio effettuate in un intervallo temporale e l'accuratezza di risposta al compito prospettico, $r(48)= .66$; $p < .001$ (vedi Figura 9).

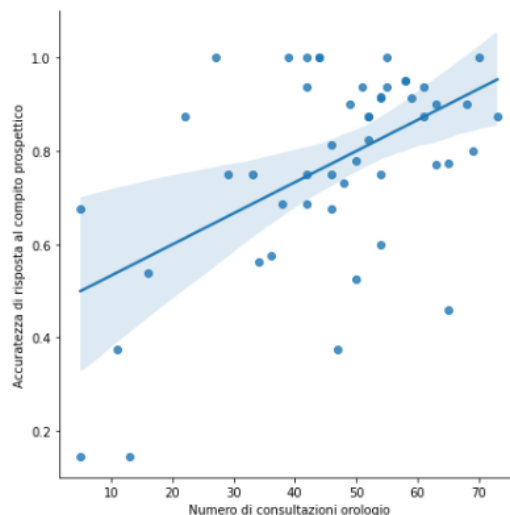


Figura 8: Correlazione positiva tra l'accuratezza di risposta al compito prospettico ed il numero di consultazioni del cronometro

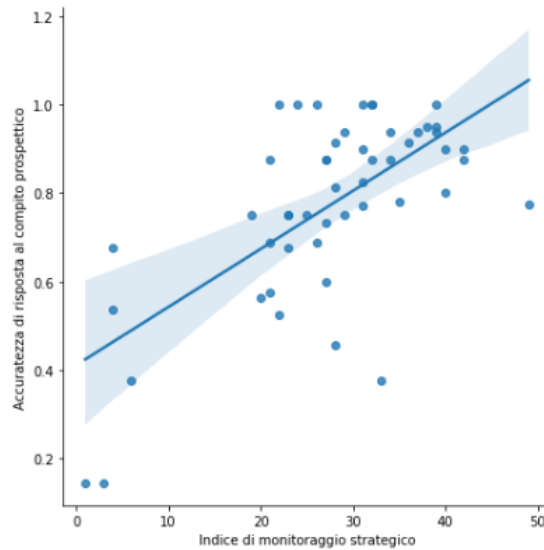


Figura 9: *Correlazione tra l'accuratezza di risposta al compito prospettico e l'indice di monitoraggio strategico*

4. Discussione

L'obiettivo dello studio è stato indagare se le abilità temporali possano influire o meno sulla capacità di ricordare un'intenzione futura. Nello specifico, abbiamo indagato se le abilità di bisezione e riproduzione temporale siano correlate con l'accuratezza di risposta ad un compito di memoria prospettica *time-based*. I risultati derivanti dalle analisi statistiche confermano in parte la nostra ipotesi, dimostrando la presenza di una correlazione tra l'accuratezza di risposta al compito prospettico e le abilità di riproduzione temporale.

Per misurare le abilità temporali dei partecipanti abbiamo utilizzato un compito di bisezione temporale e un compito di riproduzione temporale. La motivazione che sostiene la scelta di questi compiti specifici nasce da evidenze derivanti da studi precedenti, è stato infatti ampiamente dimostrato che per portare correttamente a termine compiti di discriminazione e riproduzione temporale è richiesto il coinvolgimento di funzioni esecutive di alto livello (ad es. attenzione e memoria di lavoro; Perbal, Couillet, Azouvi,

& Pouthas, 2003; Perbal, Droit-Volet, Isingrini, & Pouthas, 2002). Infatti, in queste tipologie di compiti è necessario mantenere attiva in memoria una durata di riferimento per poterla successivamente sia riprodurre che confrontare con la durata temporale target. Mentre le altre tipologie di compiti utilizzati in passato per misurare le abilità temporali, come i compiti di produzione di un intervallo, si sono dimostrate più sensibili nella rilevazione delle differenze individuali nel funzionamento dell'orologio interno (Baudouin, Vanneste, Isingrini, & Pouthas, 2006); in questi compiti non sembrerebbe infatti esserci un coinvolgimento significativo delle risorse attentive, mnestiche e delle funzioni esecutive (Grondin, 2010).

Per la valutazione della prestazione nel compito di bisezione temporale abbiamo preso in considerazione l'indice di risposte lunghe, ovvero la probabilità con cui ciascun partecipante ha risposto "lungo" alla durata degli stimoli presentati. I risultati dimostrano che i partecipanti hanno risposto "lungo" ad un intervallo di durata breve (2000, 3000, 4000 millisecondi) con una probabilità bassa, mentre hanno giudicato come "lungo" un intervallo di durata lunga con una probabilità ben più elevata. A tal proposito, calcolare il punto di bisezione, ci ha permesso di avere delle informazioni in più circa il processo decisionale utilizzato per comparare stimoli temporali a valori di riferimento immagazzinati in memoria. Il valore del punto di bisezione che abbiamo rilevato si colloca attorno alla media geometrica delle durate temporali presentate, questo risultato è in linea con quanto emerso da ricerche precedenti. Infatti, il punto di bisezione di una serie di durate temporali è pari alla media aritmetica delle durate stesse quando queste hanno un valore inferiore ad 1 secondo (Allan, 2002; Droit-Volet & Wearden, 2002); quando invece il range di durate temporali su cui è stato effettuato il giudizio temporale è maggiore di 1 secondo, il punto di bisezione si colloca in prossimità della media geometrica dei valori delle durate temporali presentate (Allan & Gibbon, 1991). Il valore ottenuto dal calcolo della frazione di Weber, ovvero dell'indice di sensibilità di risposta, risulta essere basso, ciò significa che i partecipanti hanno dimostrato in media un buon grado di sensibilità alla discriminazione di durate temporali (Allan, 2002; Ortega & Lopez, 2008).

Il calcolo dell'indice di errore assoluto ottenuto nel compito di riproduzione temporale, indicativo delle abilità strategiche del singolo, ha permesso di determinare la direzione degli errori commessi dai partecipanti nella riproduzione degli stimoli temporali. In particolare, i risultati ottenuti dal calcolo dell'errore assoluto e della RATIO forniscono ulteriori evidenze a favore dell'esistenza di una tendenza comune a sopravvalutare gli intervalli temporali con una durata breve e a sottovalutare gli intervalli lunghi, questa tendenza è stata descritta dalla legge di Vierordt (Lejonne & Wearden, 2009). La rilevazione della tendenza dei partecipanti alla sovra-riproduzione degli intervalli temporali di 4000 millisecondi e a sotto-riprodurre gli intervalli temporali di 14000 millisecondi supporta l'ipotesi per cui l'elaborazione di intervalli temporali di durata differente verrebbe svolta da sistemi cerebrali distinti (Casini & Ivry, 1999; Ivry & Spencer, 2004; Lewis & Miall, 2003; Rubia, 2006). La percezione di intervalli temporali inferiori a 5000 millisecondi sarebbe infatti a carico di un sistema automatico preposto al controllo temporale, il cui funzionamento non richiede l'impiego di risorse cognitive. Un maggiore controllo cognitivo è richiesto invece nel processamento di intervalli temporali più lunghi, per archiviare attivamente, integrare e processare gli intervalli di tempo e le informazioni associate sono infatti richiesti sia processi attentivi che il coinvolgimento della memoria di lavoro (Lewis & Miall, 2003; Rubia, 2006).

L'aver considerato anche il coefficiente di variazione, che descrive la variabilità trial per trial nella lunghezza degli intervalli riprodotti dal partecipante, ci ha permesso di considerare anche un aspetto differente nella prestazione ottenuta al compito di riproduzione temporale, ovvero l'abilità del singolo di costruire e utilizzare una precisa rappresentazione interna della durata standard.

La scelta di far svolgere ai partecipanti un secondo compito (lettura ad alta voce di cifre), oltre alla richiesta di riprodurre la durata temporale target, è mirata all'obiettivo di impedire che i partecipanti facessero uso delle strategie di conteggio del tempo (Perbal, Droit-Volet, Isingrini, & Pouthas, 2002). Studi precedenti dimostrano infatti la tendenza comune all'utilizzo di strategie, come il conteggio sub-vocalico, per fornire un giudizio su intervalli temporali della durata di pochi secondi (Grondin, 2010); l'utilizzo di tali strategie per la stima di intervalli temporali di durata inferiore ai 1200 millisecondi si è dimostrato inefficace (Grondin, 2010).

L'esecuzione del compito *ongoing* di ricerca visiva è stata preceduta da una fase di pratica, proposta prima dello svolgimento del compito di memoria prospettica *time-based*, perché i partecipanti potessero acquisire familiarità con il compito prima che questo venisse svolto in concomitanza del compito prospettico. Abbiamo dato l'istruzione ai partecipanti di continuare a svolgere il compito *ongoing* anche quando intendevano fornire la risposta al compito prospettico, chiedendo perciò di svolgere simultaneamente i due compiti (*dual task*). Sono stati infatti rilevati benefici in termini di tempi di reazione e di accuratezza di risposta al compito di memoria prospettica nella condizione in cui il compito *ongoing* veniva svolto dai partecipanti contemporaneamente al compito prospettico, rispetto alla condizione in cui veniva richiesto di interrompere l'esecuzione di quest'ultimo per fornire la risposta al compito prospettico (*task-switch*; Bisiacchi, Schiff, Ciccola, & Kliegel, 2009).

Analizzando la prestazione al compito di *baseline* e al compito *ongoing*, è emerso che nella condizione di doppio compito si verifica un aumento significativo dei tempi di risposta allo stimolo target, rispetto alla condizione di *baseline*. Non abbiamo invece rilevato un effetto altrettanto significativo in termini di decremento dell'accuratezza di risposta al compito di ricerca visiva tra la condizione in cui il compito è stato svolto come *baseline* e la condizione in cui è stato svolto come compito *ongoing* durante l'esecuzione del compito prospettico. L'aver proposto un compito *ongoing* differenziato tra blocchi ad alto e basso carico cognitivo ci ha permesso di valutare la prestazione dei partecipanti, in termini di tempi di reazione, accuratezza al compito *ongoing* e accuratezza al compito prospettico, al variare delle risorse cognitive impiegate nel compito di ricerca visiva. Dall'analisi dei dati è emerso che svolgere un compito *ongoing* ad alto carico cognitivo provoca un aumento dei tempi di reazione al compito e una diminuzione dell'accuratezza di risposta. È interessante notare che nei blocchi in cui è stato svolto un compito *ongoing* ad alto carico cognitivo abbiamo registrato un maggior numero di consultazioni dell'orologio effettuate dai partecipanti, ma non un decremento significativo dell'accuratezza di risposta al compito prospettico. Svolgere un compito *ongoing* più impegnativo avrebbe dunque indotto i partecipanti ad investire un maggior numero di risorse attentive al fine di monitorare il tempo trascorso e produrre quindi una risposta al compito prospettico con un buon grado di accuratezza.

Nel compito di memoria prospettica *time-based* ai partecipanti è stata fornita la possibilità di consultare un orologio per un massimo di cinque volte ogni intervallo temporale di 2 minuti. È stato infatti dimostrato che, potendo fare affidamento su un dispositivo esterno per il monitoraggio temporale, i partecipanti forniscono delle risposte più accurate al compito di memoria prospettica *time-based* (Graf & Grondin, 2006). La spiegazione di questo fenomeno è da ricercare nel fatto che quando si ha a disposizione un dispositivo di monitoraggio temporale esterno, si assiste ad una diminuzione del carico di risorse cognitive che è necessario investire nel monitoraggio temporale, ottenendo quindi dei benefici nella prestazione al compito prospettico. I risultati hanno confermato la presenza di una regolarità nei comportamenti di monitoraggio temporale, la cui funzione mostra il tipico andamento a forma di “J”, rimanendo piatta durante la prima porzione dell’intervallo temporale per poi crescere in maniera significativa in prossimità del momento target, come riflesso dell’aumento delle consultazioni dell’orologio esterno (Mäntylä & Carelli, 2006). Abbiamo rilevato infatti che una maggiore accuratezza di risposta al compito di memoria prospettica *time-based* correla con un maggior numero di consultazioni del cronometro, tuttavia è stato rilevante considerare anche come il partecipante ha distribuito le possibilità di consultazione del dispositivo esterno nel corso dell’intervallo temporale. A tal proposito, abbiamo preso in considerazione quante volte il monitoraggio temporale è stato effettuato in maniera strategica (indice di monitoraggio strategico), calcolando anche l’indice complementare (indice di monitoraggio all’inizio dell’intervallo) ed è emerso che più il cronometro è stato consultato in maniera strategica, rispetto al totale delle pressioni, maggiore era l’accuratezza di risposta al compito prospettico. L’incremento dell’accuratezza di risposta al compito prospettico rilevato tra i blocchi è imputabile al fenomeno conosciuto come “effetto pratica”. In particolare, anche altri studi hanno rilevato un miglioramento delle prestazioni ottenute in compito di memoria prospettica *time-based* dovuto alla pratica e hanno avanzato l’ipotesi che questo sarebbe influenzato dalla difficoltà del compito *ongoing* svolto, infatti perché si verifichi un miglioramento delle prestazioni è necessario che vengano dedicate delle risorse attentive adeguate all’esecuzione del compito prospettico (Guo, Liu, Huang, 2019).

Coerentemente con la nostra ipotesi di ricerca, abbiamo rilevato una correlazione significativa tra l’abilità di riproduzione di intervalli temporali (*absolute error*) e l’accuratezza di risposta al compito di memoria prospettica *time-based*. Dunque, il nostro

studio supporta l'ipotesi del coinvolgimento delle abilità temporali nel comportamento di monitoraggio messo in atto in un compito di memoria prospettica *time-based* (Mioni, Stablum, McClintock, & Cantagallo, 2012; Mioni & Stablum, 2014) e riporta la presenza di un coinvolgimento dell'abilità di riproduzione di intervalli temporali nell'accuratezza di risposta al compito di memoria prospettica. È necessario sottolineare anche la somiglianza tra i due compiti svolti dai partecipanti, infatti entrambi richiedevano di monitorare il tempo trascorso mentre si era impegnati a svolgere un compito secondario (lettura di cifre ad alta voce vs compito *ongoing*).

Non abbiamo invece rilevato la presenza di una correlazione tra l'abilità di discriminazione temporale, considerando in particolare la bisezione temporale e l'accuratezza di risposta al compito prospettico. L'assenza di correlazione potrebbe essere spiegata dalla natura dei compiti proposti per valutare l'abilità di discriminazione temporale e la memoria prospettica *time-based*, infatti oltre ad esserci una differenza in termini di intervalli temporali che si era chiamati a stimare, nel compito di bisezione non sembrerebbero essere coinvolte abilità di monitoraggio temporale.

4.1 Limiti dello studio

Un limite del nostro studio è stato quello di non aver inserito una fase di training precedente allo svolgimento del compito di riproduzione temporale, in modo tale che i partecipanti potessero acquisire familiarità con il compito prima di iniziare la fase test del compito. Inoltre, un ulteriore limite del nostro studio potrebbe essere quello di aver fornito una quantità elevata di possibilità di consultazione del cronometro esterno (5 volte), se rapportata alla durata temporale dell'intervallo da stimare (2 minuti). Aver fornito un numero elevato di possibilità di visualizzare l'orologio potrebbe essere uno dei fattori ad aver determinato dei livelli di accuratezza di risposta al compito prospettico piuttosto elevati, generando quindi quello che in letteratura è noto come "effetto tetto". Infatti, la maggioranza dei partecipanti nella maggior parte degli intervalli temporali stimati non ha usufruito di tutte le possibilità di consultazione del cronometro, questo fenomeno si è verificato nella condizione ad alto e basso carico cognitivo. In aggiunta a ciò, è da considerare anche che la prestazione del partecipante è stata valutata come "corretta"

qualora la risposta al compito prospettico sia stata fornita 10 secondi prima o dopo del momento target (Einstein, McDaniel, Richardson, Gynn, & Cunfer, 1995; Shum, Valentine, & Cutmore, 1999), aver considerato quest'intervallo ha influito sui livelli di accuratezza osservati in risposta al compito prospettico. Nell'ottica di ulteriori analisi, consideriamo tuttavia la possibilità di modificare il valore soglia dell'intervallo all'interno del quale considerare "corretta" la risposta al compito prospettico, al fine di valutare la presenza di eventuali differenze significative nei livelli di accuratezza di risposta. Ci aspettiamo che la modificazione di tale soglia possa rivelare differenze significative anche nell'accuratezza di risposta al compito prospettico tra blocchi *ongoing* ad alto e basso carico cognitivo.

L'età e il livello di educazione potrebbero aver influito sulle strategie di monitoraggio e sui livelli di accuratezza ottenuti nell'esecuzione del compito prospettico. Avendo infatti selezionato esclusivamente partecipanti giovani e con un elevato livello di educazione, un ulteriore fattore che ha inciso sulle prestazioni ottenute al compito prospettico è sicuramente da ricercare nelle buone abilità esecutive e di stima temporale del campione selezionato (Mäntyla & Carelli, 2006; Mäntylä, Carelli, & Forman, 2007; Mioni, Stabum, McClintock, & Cantagallo, 2012).

Considerando che abbiamo richiesto ai partecipanti di utilizzare la tastiera del PC per monitorare il passaggio del tempo e per fornire le risposte ogni 2 minuti, potrebbe essere ragionevole supporre che i tasti colorati della tastiera abbiano svolto il ruolo di un cue esterno e che abbiamo aiutato quindi i partecipanti a tenere a mente le istruzioni del compito prospettico.

4.2 Prospettive future

Come nel caso degli studi di neuroimaging, la gran parte degli studi che ha utilizzato la tecnica dei potenziali evento-relati (ERPs) si è concentrata sui compiti di memoria prospettica di tipo *event-based* (West, 2011). Come precedentemente sottolineato, compiti di memoria prospettica *time-based* ed *event-based* sono mediati da differenti meccanismi di monitoraggio strategico, studi precedenti hanno analizzato la presenza di eventuali somiglianze e differenze tra i due compiti prospettici nei correlati

elettrofisiologici del monitoraggio strategico (Cona, Arcara, Tarantino, & Bisiacchi, 2012). L'esecuzione di un compito prospettico *time-based* o *event-based* durante lo svolgimento di un compito *ongoing* porta ad un aumento sostenuto e diffuso dell'attività ERP, a partire da 180 millisecondi dalla comparsa dello stimolo *ongoing* fino ad 800 millisecondi, rilevabile specialmente in corrispondenza delle regioni frontali e prefrontali. Questa modulazione dell'attività ERP comune ai due compiti rifletterebbe la presenza di un processo mnestico di recupero dell'intenzione prospettica (*retrieval mode*), uno dei due meccanismi del monitoraggio strategico, impiegato ugualmente nei due compiti. Tuttavia, tra i 400 e i 600 millisecondi dalla comparsa degli stimoli del compito *ongoing*, vengono rilevate delle differenze nella modulazione degli ERP tra i due compiti, probabilmente espressione del reclutamento di differenti risorse per il monitoraggio del cue prospettico e dell'allocazione di risorse attentive diverse, considerata anche l'imprevedibilità del cue prospettico nei compiti *event-based*.

In particolare, nel compito *time-based* il monitoraggio del cue prospettico avverrebbe tramite consultazione di un orologio esterno, non sarebbe perciò necessario investire risorse cognitive aggiuntive nel continuo monitoraggio degli stimoli esterni. Il nostro studio e studi precedenti hanno dimostrato come le abilità interne di stima temporale influiscono sulle strategie di monitoraggio e sull'accuratezza di risposta in un compito di memoria prospettica *time-based*. In particolare, studi futuri potrebbero concentrarsi sulla rilevazione di una potenziale influenza del processo di stima temporale sugli ERP elicitati dall'esecuzione di un compito *ongoing*, limitando le possibilità di consultazione del cronometro da parte dei partecipanti.

Inoltre, studi precedenti effettuati tramite l'utilizzo degli ERPs hanno dimostrato l'acquisizione di una modalità attiva di processamento della durata temporale durante la presentazione dello stimolo standard in un compito di riproduzione temporale. L'acquisizione di questa modalità di processamento rappresenta il fattore principale che permette di discriminare tra prestazioni buone e scarse (in termini di valori inferiori del minore coefficiente di variazione) al compito (Gibbons & Stahl, 2008). Data la correlazione, rilevata nel presente studio, tra l'abilità di riproduzione temporale e l'accuratezza di risposta al compito prospettico *time-based*, studi futuri potrebbero verificare la presenza di somiglianze o differenze nella modulazione delle onde ERP durante la presentazione di un intervallo standard in un compito di riproduzione temporale

e la modulazione delle onde ERP rilevata durante l'esecuzione di un compito *ongoing* a cui viene aggiunta l'istruzione di eseguire in contemporanea un compito prospettico di tipo *time-based*.

CONCLUSIONI

Questo studio ha indagato la presenza di correlazioni tra le abilità di bisezione e riproduzione di intervalli temporali e il livello di accuratezza ottenuto nell'esecuzione di un compito di memoria prospettica *time-based*. A tal fine sono stati somministrati ai partecipanti tre compiti sperimentali, utilizzati per valutare ciascuna delle abilità considerate. I compiti sono stati somministrati ad un campione di 50 partecipanti, maschi e femmine iscritti all'Università degli studi di Padova, di età compresa tra i 18 e i 35 anni (M= 21.5).

L'analisi dei dati ottenuti dalle prestazioni dei partecipanti ha permesso di rilevare la presenza di una correlazione significativa tra l'abilità di riproduzione di intervalli temporali e l'accuratezza di risposta al compito prospettico. Questo risultato è coerente con parte delle aspettative; infatti, contrariamente a quanto ipotizzato in partenza, non è stata riscontrata la presenza di una correlazione tra le abilità di bisezione temporale e l'accuratezza della prestazione al compito prospettico. Una possibile spiegazione dei risultati ottenuti può essere ricercata nella somiglianza riscontrabile tra i compiti di riproduzione temporale e di memoria prospettica proposti. Ci sono evidenze anche a favore del fatto che i compiti di riproduzione temporale, se comparati ai compiti di bisezione temporale e, nello specifico, al compito da noi proposto, richiederebbero un maggiore coinvolgimento di capacità mnestiche e attentive. Perciò il compito di riproduzione temporale e il compito di memoria prospettica *time-based* potrebbero aver richiesto un carico cognitivo simile.

Il presente studio integra, perciò, la letteratura già esistente circa il coinvolgimento della percezione temporale in compiti di memoria prospettica *time-based*, focalizzando però l'attenzione su due compiti temporali più impegnativi sul piano cognitivo, rispetto ai classici compiti utilizzati per la valutazione delle abilità di percezione temporale.

Tuttavia, bisogna tenere presente che in questo studio è stato utilizzato un valore soglia per la valutazione delle risposte fornite al compito ongoing che potrebbe essere risultato troppo basso, facendo così emergere un "effetto tetto" nelle prestazioni dei

partecipanti. Cambiando i valori dell'intervallo entro il quale viene considerata "corretta" la risposta al compito prospettico, si potrebbero rilevare delle differenze anche nell'accuratezza di risposta al compito.

Un suggerimento per ulteriori ricerche future potrebbe essere quello di indagare la prestazione ai compiti di riproduzione temporale e di memoria prospettica *time-based* tramite l'utilizzo dei potenziali evento-relati (ERPs). In particolare, sarebbe interessante indagare se i processi cognitivi coinvolti nell'esecuzione dei due compiti siano gli stessi o se invece siano diversi.

BIBLIOGRAFIA

- Ague, C. (1974). Cardiovascular variables, skin conductance and time estimation: Changes after the administration of small doses of nicotine. *Psychopharmacologia*, 37, 109-125.
- Allan, L. G. (2002). The location and interpretation of the bisection point. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section B*, 55, 43-60.
- Allan, L. G., & Gibbon, J. (1991). Human bisection at the geometric mean. *Learning and Motivation*, 22, 39-58.
- Allman, M. J., & Meck, W. H. (2012). Pathophysiological distortions in time perception and timed performance. *Brain: a journal of neurology*, 135, 656-677.
- Angel, H. V. (1973). Role of chlorpromazine in maintaining timing behavior in schizophrenics. *Psychopharmacologia*, 28, 185-194.
- Artieda, J., Pastor, M. A., Lacruz, F., & Obeso, J. A. (1992). Temporal discrimination is abnormal in Parkinson's disease. *Brain: a journal of neurology*, 115, 199-210.
- Atkin, M. S., & Cohen, P. R. (1996). Monitoring strategies for embedded agents: Experiments and analysis. *Adaptive Behavior*, 4, 125-172.
- Baudouin, A., Vanneste, S., Isingrini, M., & Pouthas, V. (2006). Differential involvement of internal clock and working memory in the production and reproduction of duration: A study on older adults. *Acta Psychologica*, 121, 285-296.
- Bateson, M. (2003). Interval timing and optimal foraging. In W. H. Meck (Ed.), *Functional and neural mechanisms of interval timing* (pp. 113-141). CRC Press/Routledge/Taylor & Francis Group.
- Beck, S. M., Ruge, H., Walser, M., & Goschke, T. (2014). The functional neuroanatomy of spontaneous retrieval and strategic monitoring of delayed intentions. *Neuropsychologia*, 52, 37-50.

- Bisiacchi, P. S., Schiff, S., Ciccola, A., & Kliegel, M. (2009). The role of dual-task and task-switch in prospective memory: Behavioural data and neural correlates. *Neuropsychologia*, *47*, 1362-1373.
- Block, R. A. (1989). Experiencing and remembering time: Affordances, context, and cognition. In *Advances in psychology* (pp. 333-363). North-Holland.
- Block, R. A. (1990). Models of psychological time. In R. A. Block (Ed.), *Cognitive models of psychological time* (pp. 1–35). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Block, R. A., & Reed, M. A. (1978). Remembered duration: Evidence for a contextual-change hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *4*, 656–665.
- Block, R. A., & Zakay, D. (2006). Prospective Remembering Involves Time Estimation and Memory Processes. In J. Glicksohn & M. S. Myslobodsky (Eds.), *Timing the future: The case for a time-based prospective memory* (pp. 25–49). World Scientific Publishing Co.
- Block, R. A., Zakay, D., & Hancock, P. A. (1998). Human aging and duration judgments: a meta-analytic review. *Psychology and aging*, *13*, 584–596.
- Boltz, M. G. (1994). Changes in internal tempo and effects on the learning and remembering of event durations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*, 1154–1171.
- Brandimonte M, Einstein GO, McDaniel MA, editors. (1996) *Prospective memory: Theory and applications*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- Breska, A., & Ivry, R. B. (2021). The human cerebellum is essential for modulating perceptual sensitivity based on temporal expectations. *eLife*, *10*, e66743.
- Brown, S. W. (2008). Time and attention: Review of the literature. *Psychology of time*, 111-138.
- Buonomano, D. V., & Mauk, M. D. (1994). Neural network model of the cerebellum: temporal discrimination and the timing of motor responses. *Neural computation*, *6*, 38-55.

- Burgess, P. W., Dumontheil, I., & Gilbert, S. J. (2007). The gateway hypothesis of rostral prefrontal cortex (area 10) function. *Trends in cognitive sciences*, *11*(7), 290–298.
- Burgess, P. W., Quayle, A., & Frith, C. D. (2001). Brain regions involved in prospective memory as determined by positron emission tomography. *Neuropsychologia*, *39*, 545–555.
- Burgess, P. W., Scott, S. K., & Frith, C. D. (2003). The role of the rostral frontal cortex (area 10) in prospective memory: A lateral versus medial dissociation. *Neuropsychologia*, *41*, 439–453.
- Burgess, P. W., Simons, J. S., Dumontheil, I., & Gilbert, S. J. (2005). The gateway hypothesis of rostral PFC function. In J. Duncan, L. Phillips, & P. McLeod (Eds.), *Measuring the mind: Speed control and age* (pp. 215-246). Oxford, UK: Oxford University Press.
- Burgess, P. W., Veitch, E., de Lacy Costello, A., & Shallice, T. (2000). The cognitive and neuroanatomical correlates of multitasking. *Neuropsychologia*, *38*, 848–863.
- Cabeza, R., Ciaramelli, E., Olson, I. R., & Moscovitch, M. (2008). The parietal cortex and episodic memory: an attentional account. *Nature reviews. Neuroscience*, *9*, 613–625.
- Casini, L., & Ivry, R. B. (1999). Effects of divided attention on temporal processing in patients with lesions of the cerebellum or frontal lobe. *Neuropsychology*, *13*, 10–21.
- Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *3*, 216–228.
- Chen, Y., Huang, X., Jackson, T., & Yang, H. (2009). Effect of characteristics of target cues on task interference from prospective memory. *NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, *20*, 81–86.
- Ciaramelli, E., Grady, C., Levine, B., Ween, J., & Moscovitch, M. (2010). Top-down and bottom-up attention to memory are dissociated in posterior parietal cortex: neuroimaging and neuropsychological evidence. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, *30*, 4943–4956.
- Clarke, S. P., & Ivry, R. B. (1997). The effects of various motor system lesions on time perception in the rat. *Society for Neuroscience Abstracts*, *23*, 778.

- Clay, E.R. (1882). *The alternative: a study in psychology*. London: Macmillan and Co.
- Cona, G., Arcara, G., Tarantino, V., & Bisiacchi, P. S. (2012). Electrophysiological correlates of strategic monitoring in event-based and time-based prospective memory. *PloS one*, *7*, e31659.
- Cona, G., Arcara, G., Tarantino, V., & Bisiacchi, P. S. (2015). Does predictability matter? Effects of cue predictability on neurocognitive mechanisms underlying prospective memory. *Frontiers in human neuroscience*, *9*, 188.
- Cona, G., Scarpazza, C., Sartori, G., Moscovitch, M., & Bisiacchi, P. S. (2015). Neural bases of prospective memory: a meta-analysis and the “Attention to Delayed Intention”(AtoDI) model. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *52*, 21-37.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews neuroscience*, *3*, 201-215.
- Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, *36*, 3-25.
- Dallal, N. L., & Meck, W. H. (1993). Depletion of Dopamine in the caudate nucleus but not destruction of vestibular inputs impairs short-interval timing in rats. *Abstracts-Society for Neuroscience*, *19*, 1583.
- Daum, I., Schugens, M. M., Ackermann, H., Lutzenberger, W., Dichgans, J., & Birbaumer, N. (1993). Classical conditioning after cerebellar lesions in humans. *Behavioral Neuroscience*, *107*, 748–756.
- den Ouden, H. E., Frith, U., Frith, C., & Blakemore, S. J. (2005). Thinking about intentions. *NeuroImage*, *28*, 787–796.
- Diedrichsen, J., Ivry, R. B., & Pressing, J. (2003). Cerebellar and basal ganglia contributions to interval timing. In W. H. Meck (Ed.), *Functional and neural mechanisms of interval timing* (pp. 457–483). CRC Press/Routledge/Taylor & Francis Group.
- Droit-Volet, S., & Wearden, J. (2002). Speeding up an internal clock in children? Effects of visual flicker on subjective duration. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section B*, *55*, 193-211.

- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and cognition*, *16*, 717.
- Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2005). Prospective memory: Multiple retrieval processes. *Current Directions in Psychological Science*, *14*, 286-290.
- Einstein, G. O., Holland, L. J., McDaniel, M. A., & Guynn, M. J. (1992). Age-related deficits in prospective memory: the influence of task complexity. *Psychology and aging*, *7*, 471.
- Einstein, G. O., McDaniel, M. A., Richardson, S. L., Guynn, M. J., & Cunfer, A. R. (1995). Aging and prospective memory: examining the influences of self-initiated retrieval processes. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, *21*, 996–1007.
- Ellis, J., Kvavilashvili, L., & Milne, A. (1999). Experimental tests of prospective remembering: The influence of cue-event frequency on performance. *British Journal of Psychology*, *90*, 9-23.
- Fraisse, P. (1984). Perception and estimation of time. *Annual review of psychology*, *35*, 1-37.
- Gauld, A., & Shotter, J. (1977). *Human action and its psychological investigation*. Routledge & Kegan Paul.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, *84*, 279–325.
- Gibbon, J., & Church, R. M. (1981). Time left: Linear versus logarithmic subjective time. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *7*, 87–108.
- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *423*, 52–77.
- Gibbons, H., & Stahl, J. (2008). ERP predictors of individual performance on a prospective temporal reproduction task. *Psychological Research*, *72*, 311-320.
- Gilbert, S. J., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2005). Involvement of rostral prefrontal cortex in selection between stimulus-oriented and stimulus-independent thought. *European Journal of Neuroscience*, *21*, 1423-1431.

- Gilbert, S. J., Simons, J. S., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2006). Performance-related activity in medial rostral prefrontal cortex (area 10) during low-demand tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *32*, 45.
- Graf, P., & Grondin, S. (2006). Time Perception and Time-Based Prospective Memory. In J. Glicksohn & M. S. Myslobodsky (Eds.), *Timing the future: The case for a time-based prospective memory* (pp. 1–24). World Scientific Publishing Co.
- Grondin S. (2001). From physical time to the first and second moments of psychological time. *Psychological bulletin*, *127*(1), 22–44. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.1.22>
- Grondin, S. (2003). Sensory modalities and temporal processing. In H. Helfrich (Ed.), *Time and mind II* (pp. 61-77). Göttingen: Hogrefe & Huber.
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*, 561-582.
- Guo, Y., Liu, P., & Huang, X. (2019). The Practice Effect on Time-Based Prospective Memory: The Influences of Ongoing Task Difficulty and Delay. *Frontiers in psychology*, *10*, 2002.
- Gynn, M. J. (2003). A two-process model of strategic monitoring in event-based prospective memory: Activation/retrieval mode and checking. *International Journal of Psychology*, *38*, 245–256.
- Harrington, D. L., Haaland, K. Y., & Hermanowicz, N. (1998). Temporal processing in the basal ganglia. *Neuropsychology*, *12*, 3–12.
- Harrington, D. L., Haaland, K. Y., & Knight, R. T. (1998). Cortical networks underlying mechanisms of time perception. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, *18*, 1085–1095.
- Harris, J. E. (1984). Remembering to do things: A forgotten topic. In J. E. Harris & P. E. Morris (Eds.), *Everyday memory, actions and absent-mindedness* (pp. 71–92). New York: Academic Press.
- Harris, J. E., & Wilkins, A. J. (1982). Remembering to do things: A theoretical framework and an illustrative experiment. *Human Learning*, *1*, 123-136.

- Helfrich, H. E. (2003). *Time and mind II: Information processing perspectives*. Hogrefe & Huber Publishers.
- Hicks, J. L., Marsh, R. L., & Cook, G. I. (2005). Task interference in time-based, event-based, and dual intention prospective memory conditions. *Journal of Memory and Language*, *53*, 430-444.
- Hicks, R. E., Miller, G. W., & Kinsbourne, M. (1976). Prospective and retrospective judgments of time as a function of amount of information processed. *The American journal of psychology*, *719-730*.
- Holway, A. H., & Pratt, C. C. (1936). The Weber ratio for intensive discrimination. *Psychological Review*, *43*, 322-340.
- Horvitz J. C. (2000). Mesolimbocortical and nigrostriatal dopamine responses to salient non-reward events. *Neuroscience*, *96(4)*, 651-656.
- Ivry R. B. (1996). The representation of temporal information in perception and motor control. *Current opinion in neurobiology*, *6*, 851-857.
- Ivry, R. B., & Keele, S. W. (1989). Timing functions of the cerebellum. *Journal of cognitive neuroscience*, *1*, 136-152.
- Ivry, R. B., & Spencer, R. M. (2004). The neural representation of time. *Current opinion in neurobiology*, *14*, 225-232.
- Jäger, T., & Kliegel, M. (2008). Time-based and event-based prospective memory across adulthood: underlying mechanisms and differential costs on the ongoing task. *The Journal of general psychology*, *135*, 4-22.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology*. New York: Henry Holt and Company the Principles of Psychology.
- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological review*, *96*, 459-491.
- Jones, C. R., Rosenkranz, K., Rothwell, J. C., & Jahanshahi, M. (2004). The right dorsolateral prefrontal cortex is essential in time reproduction: an investigation with repetitive transcranial magnetic stimulation. *Experimental brain research*, *158*, 366-372.

- Justus, T. C., & Ivry, R. B. (2001). The cognitive neuropsychology of the cerebellum. *International Review of Psychiatry, 13*, 276–282.
- Kalpouzos, G., Eriksson, J., Sjölie, D., Molin, J., & Nyberg, L. (2010). Neurocognitive systems related to real-world prospective memory. *PloS one, 5*, e13304.
- Kidder, D. P., Park, D. C., Hertzog, C., & Morrell, R. W. (1997). Prospective memory and aging: The effects of working memory and prospective memory task load. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 4*, 93-112.
- Kim, J., & Kim, Y. (2022). Distorted time perception in patients with transient global amnesia: time perception task and imaging analysis. *Neurological sciences: official journal of the Italian Neurological Society and of the Italian Society of Clinical Neurophysiology, 43*(10), 5951–5958.
- Kinsbourne, M., & Hicks, R. E. (1990). The extended present: Evidence from time estimation by amnesics and normals. In G. Vallar & T. Shallice (Eds.), *Neuropsychological impairments of short-term memory* (pp. 319–330). Cambridge University Press.
- Kliegel, M., & Martin, M. (2003). Prospective memory research: Why is it relevant?. *International journal of psychology, 38*, 193-194.
- Kliegel, M., Martin, M., McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2002). Complex prospective memory and executive control of working memory: A process model. *Psychological Test and Assessment Modeling, 44*, 303.
- Koch, G., Oliveri, M., Carlesimo, G. A., & Caltagirone, C. (2002). Selective deficit of time perception in a patient with right prefrontal cortex lesion. *Neurology, 59*, 1658–1659.
- Koch, G., Oliveri, M., Torriero, S., Salerno, S., Lo Gerfo, E., & Caltagirone, C. (2007). Repetitive TMS of cerebellum interferes with millisecond time processing. *Experimental brain research, 179*, 291–299.
- Labelle, M. A., Graf, P., Grondin, S., & Gagné-Roy, L. (2009). Time-related processes in time-based prospective memory and in time-interval production. *European Journal of Cognitive Psychology, 21*, 501-521.
- Lejeune, H., & Wearden, J. H. (2009). Vierordt's The Experimental Study of the Time Sense (1868) and its legacy. *European Journal of Cognitive Psychology, 21*, 941-960.

- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003). Brain activation patterns during measurement of sub-and supra-second intervals. *Neuropsychologia*, *41*, 1583-1592.
- Lindman, R., & Taxell, H. (1975). The effects of alcohol and variable amount of cognitive stress on the estimation of time. *Scandinavian Journal of Psychology*, *16*, 65–71.
- Macar F, Grondin S, Casini L (1994) Controlled attention sharing influences time estimation. *Mem Cognit* 22: 673-686
- Mahlberg, R., Kienast, T., Bschor, T., & Adli, M. (2008). Evaluation of time memory in acutely depressed patients, manic patients, and healthy controls using a time reproduction task. *European Psychiatry*, *23*, 430-433.
- Malapani, C., Dubois, B., Rancurel, G., & Gibbon, J. (1998). Cerebellar dysfunctions of temporal processing in the seconds range in humans. *Neuroreport*, *9*, 3907-3912.
- Malapani, C., Khati, C., Dubois, B., & Gibbon, J. (1997). *Damage to cerebellar cortex impairs precision of time estimation in the seconds range*. Paper presented at the 4th Annual Meeting of the Cognitive Neuroscience Society, Boston, MA.
- Mangels, J. A., & Ivry, R. B. (2001). Time perception. *The handbook of cognitive neuropsychology: What deficits reveal about the human mind*, 467-493.
- Mangels, J. A., Ivry, R. B., & Shimizu, N. (1998). Dissociable contributions of the prefrontal and neocerebellar cortex to time perception. *Cognitive Brain Research*, *7*, 15-39.
- Mäntylä, T., & Carelli, M.G. (2006). Time Monitoring and Executive Functioning: Individual and Developmental Differences. In J. Glicksohn & M. S. Myslobodsky (Eds.), *Timing the future: The case for a time-based prospective memory* (pp. 191–211). World Scientific Publishing Co.
- Mäntylä, T., Carelli, M. G., & Forman, H. (2007). Time monitoring and executive functioning in children and adults. *Journal of experimental child psychology*, *96*, 1–19.
- Maricq, A. V., & Church, R. M. (1983). The differential effects of haloperidol and methamphetamine on time estimation in the rat. *Psychopharmacology*, *79*, 10–15.
- Maricq, A. V., Roberts, S., & Church, R. M. (1981). Methamphetamine and time estimation. *Journal of experimental psychology. Animal behavior processes*, *7*, 18–30.

- Marsh, R. L., Hicks, J. L., & Cook, G. I. (2006). Task interference from prospective memories covaries with contextual associations of fulfilling them. *Memory & cognition*, *34*, 1037-1045.
- Marsh, R. L., Hicks, J. L., Cook, G. I., Hansen, J. S., & Pallos, A. L. (2003). Interference to ongoing activities covaries with the characteristics of an event-based intention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*, 861-870.
- Martin, M., Kliegel, M., & McDaniel, M. A. (2003). The involvement of executive functions in prospective memory performance of adults. *International Journal of Psychology*, *38*, 195-206.
- Masin, S. (2009). The (Weber's) law that never was. In M. Elliott & S. Antonijevic (Eds.), *Fechner Day 2009: Proceedings of the 25th Annual Meeting of the International Society for Psychophysics* (pp. 441-446). International Society for Psychophysics.
- Matell, M. S., Chelius, C. M., Meck, W. H., & Sakata, S. (2000). Effect of unilateral or bilateral retrograde 6-OHDA lesions of the substantia nigra pars compacta on interval timing. *Abstracts-Society for Neuroscience*, *26*, 650.
- Matell, M. S., & Meck, W. H. (2004). Cortico-striatal circuits and interval timing: coincidence detection of oscillatory processes. *Brain research. Cognitive brain research*, *21*, 139-170.
- Mauk, M. D., & Buonomano, D. V. (2004). The neural basis of temporal processing. *Annual review of neuroscience*, *27*, 307-340.
- McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (1993). The importance of cue familiarity and cue distinctiveness in prospective memory. *Memory (Hove, England)*, *1*, 23-41.
- McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2000). Strategic and automatic processes in prospective memory retrieval: A multiprocess framework. *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, *14*(7), S127-S144.
- McDaniel, M. A., & Einstein, G. O. (2007). *Prospective memory: An overview and synthesis of an emerging field*. Thousand Oaks, CA: Sage.

- McDaniel, M. A., & Scullin, M. K. (2010). Implementation intention encoding does not automatize prospective memory responding. *Memory & cognition*, *38*, 221-232.
- McDaniel, M. A., Glisky, E. L., Guynn, M. J., & Routhieaux, B. C. (1999). Prospective memory: a neuropsychological study. *Neuropsychology*, *13*, 103.
- McDaniel, M. A., LaMontagne, P., Beck, S. M., Scullin, M. K., & Braver, T. S. (2013). Dissociable neural routes to successful prospective memory. *Psychological science*, *24*, 1791-1800.
- Meck W. H. (1996). Neuropharmacology of timing and time perception. *Brain research. Cognitive brain research*, *3*, 227-242.
- Meck, W. H., Penney, T. B., & Pouthas, V. (2008). Cortico-striatal representation of time in animals and humans. *Current opinion in neurobiology*, *18*, 145-152.
- Middleton, F. A., & Strick, P. L. (1994). Anatomical evidence for cerebellar and basal ganglia involvement in higher cognitive function. *Science*, *266*, 458-461.
- Milner, B., Squire, L. R., & Kandel, E. R. (1998). Cognitive neuroscience and the study of memory. *Neuron*, *20*, 445-468.
- Mimura, M., Kinsbourne, M., & O'Connor, M. (2000). Time estimation by patients with frontal lesions and by Korsakoff amnesics. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *6*, 517-528.
- Mioni, G., Mattalia, G., & Stablum, F. (2013). Time perception in severe traumatic brain injury patients: A study comparing different methodologies. *Brain and Cognition*, *81*, 305-312.
- Mioni, G., & Stablum, F. (2014). Monitoring behaviour in a time-based prospective memory task: the involvement of executive functions and time perception. *Memory (Hove, England)*, *22*, 536-552.
- Mioni, G., Stablum, F., McClintock, S. M., & Cantagallo, A. (2012). Time-based prospective memory in severe traumatic brain injury patients: The involvement of executive functions and time perception. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *18*, 697-705.

- Mioni, G., Stablum, F., McClintock, S. M., & Grondin, S. (2014). Different methods for reproducing time, different results. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *76*, 675–681.
- Moscovitch, M., Rosenbaum, R. S., Gilboa, A., Addis, D. R., Westmacott, R., Grady, C., ... & Nadel, L. (2005). Functional neuroanatomy of remote episodic, semantic and spatial memory: a unified account based on multiple trace theory. *Journal of anatomy*, *207*, 35–66.
- Nichelli, P., Alway, D., & Grafman, J. (1996). Perceptual timing in cerebellar degeneration. *Neuropsychologia*, *34*, 863-871.
- Nichelli, P., Clark, K., Hollnagel, C., & Grafman, J. (1995). Duration processing after frontal lobe lesions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *769*, 183–190.
- Okuda, J., Fujii, T., Yamadori, A., Kawashima, R., Tsukiura, T., Fukatsu, R., Suzuki, K., Ito, M., & Fukuda, H. (1998). Participation of the prefrontal cortices in prospective memory: evidence from a PET study in humans. *Neuroscience letters*, *253*, 127–130.
- Oldfield R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*, 97–113.
- Ortega, L., & López, F. (2008). Effects of visual flicker on subjective time in a temporal bisection task. *Behavioural Processes*, *78*, 380-386.
- Pastor, M. A., Artieda, J., Jahanshahi, M., & Obeso, J. A. (1992). Time estimation and reproduction is abnormal in Parkinson's disease. *Brain: a journal of neurology*, *1*, 211–225.
- Penney, T. B., & Vaitilingam, L. (2008). Imaging time. *Psychology of time*, 261-294.
- Perbal, S., Couillet, J., Azouvi, P., & Pouthas, V. (2003). Relationships between time estimation, memory, attention, and processing speed in patients with severe traumatic brain injury. *Neuropsychologia*, *41*, 1599–1610.
- Perbal, S., Droit-Volet, S., Isingrini, M., & Pouthas, V. (2002). Relationships between age-related changes in time estimation and age-related changes in processing speed, attention, and memory. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *9*, 201-216.

- Perret, S., Ruiz, B., & Mauk, M. (1993). Cerebellar cortex lesions disrupt learning dependent timing of conditioned eyelid responses. *Journal of Neuroscience*, 13, 1708-1718.
- Phillips, J. G., Bradshaw, J. L., Iansak, R., & Chiu, E. (1993). Motor functions of the basal ganglia. *Psychological research*, 55, 175-181.
- Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., & Gabrieli, J. D. (2000). Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nature neuroscience*, 3, 85-90.
- Rammsayer T. H. (1999). Neuropharmacological evidence for different timing mechanisms in humans. *The Quarterly journal of experimental psychology. B, Comparative and physiological psychology*, 52, 273-286.
- Rammsayer, T., & Classen, W. (1997). Impaired temporal discrimination in Parkinson's disease: temporal processing of brief durations as an indicator of degeneration of dopaminergic neurons in the basal ganglia. *International Journal of Neuroscience*, 91, 45-55.
- Rao, S. M., Harrington, D. L., Haaland, K. Y., Bobholz, J. A., Cox, R. W., & Binder, J. R. (1997). Distributed neural systems underlying the timing of movements. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 17, 5528-5535.
- Rubia, K. (2006). The Neural Correlates of Timing Functions. In J. Glicksohn & M. S. Myslobodsky (Eds.), *Timing the future: The case for a time-based prospective memory* (pp. 213-238). World Scientific Publishing Co.
- Scoville, W. B., & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 20, 11.
- Scullin, M. K., McDaniel, M. A., & Shelton, J. T. (2013). The Dynamic Multiprocess Framework: Evidence from prospective memory with contextual variability. *Cognitive psychology*, 67, 55-71.
- Shum, D., Valentine, M., & Cutmore, T. (1999). Performance of individuals with severe long-term traumatic brain injury on time-, event-, and activity-based prospective memory tasks. *Journal of clinical and Experimental Neuropsychology*, 21, 49-58.
- Siegel, S. F., & Church, R. M. (1984). The decision rule in temporal bisection. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 643-645.

- Simons, J. S., Schölvink, M. L., Gilbert, S. J., Frith, C. D., & Burgess, P. W. (2006). Differential components of prospective memory? Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, *44*, 1388-1397.
- Smith, R. E. (2003). The cost of remembering to remember in event-based prospective memory: investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *29*, 347.
- Smith, J. G., Harper, D. N., Gittings, D., & Abernethy, D. (2007). The effect of Parkinson's disease on time estimation as a function of stimulus duration range and modality. *Brain and cognition*, *64*, 130-143.
- Sowden, P. T. (2012). Psychophysics. In H. Cooper, P. M. Camici, D. L. Long, A. T. Panter, D. Rindskopf, & K. J. Sher (Eds.), *APA handbook of research methods in psychology, Vol. 1. Foundations, planning, measures, and psychometrics* (pp. 445–458). American Psychological Association.
- Thomas, E. A., & Weaver, W. B. (1975). Cognitive processing and time perception. *Perception & psychophysics*, *17*, 363-367.
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs: General and Applied*, *77*, 1–31.
- Treisman, M., Faulkner, A., & Naish, P. L. (1992). On the relation between time perception and the timing of motor action: Evidence for a temporal oscillator controlling the timing of movement. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, *45*, 235–263.
- Wahl, O. F., & Sieg, D. (1980). Time estimation among schizophrenics. *Perceptual and motor skills*, *50*, 535–541.
- Waldum, E. R., & Sahakyan, L. (2013). A role for memory in prospective timing informs timing in prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, *142*, 809.
- Wearden, J. H. (1991). Do humans possess an internal clock with scalar timing properties? *Learning and Motivation*, *22*, 59–83.

- West, R. (2011). The temporal dynamics of prospective memory: a review of the ERP and prospective memory literature. *Neuropsychologia*, *49*, 2233-2245.
- West, R., McNerney, M. W., & Travers, S. (2007). Gone but not forgotten: The effects of cancelled intentions on the neural correlates of prospective memory. *International Journal of Psychophysiology*, *64*, 215–225.
- White F. J. (1987). D-1 dopamine receptor stimulation enables the inhibition of nucleus accumbens neurons by a D-2 receptor agonist. *European journal of pharmacology*, *135*(1), 101–105.
- Zakay, D. (1990). The evasive art of subjective time measurement: Some methodological dilemmas. In R. A. Block (Ed.), *Cognitive models of psychological time* (pp. 59–84). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Zakay, D. (1993). Relative and absolute duration judgments under prospective and retrospective paradigms. *Percept Psychophys*, *54*, 656-664.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1996). The role of attention in time estimation processes. In M. A. Pastor & J. Artieda (Eds.), *Time, internal clocks and movement* (pp. 143–164). North-Holland/Elsevier Science Publishers.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1997). Temporal cognition. *Current Directions in Psychological Science*, *6*, 12–16.
- Zakay, D., & Block, R. A. (2004). Prospective and retrospective duration judgments: An executive-control perspective. *Acta neurobiologiae experimentalis*, *64*, 319-328.