



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale – DPG

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN NEUROSCIENZE E
RIABILITAZIONE NEUROPSICOLOGICA**

Tesi

**PERCEZIONE IMPLICITA DEL TEMPO IN ETA'
AVANZATA: INVECCHIAMENTO SANO E
PATOLOGICO A CONFRONTO**

**Implicit timing in older age: a comparison between healthy and
pathological aging**

Relatrice: *Prof.ssa Giovanna Mioni*

Laureanda: *Lisa Piccolo*

Matricola: 2016704

Anno accademico 2022-2023

Abstract

Attualmente lo studio scientifico della percezione soggettiva del tempo ha assunto notevole importanza, sia considerando la centralità della struttura temporale degli eventi nella nostra percezione del mondo, che in relazione alla possibilità stessa di mantenere un adeguato livello di funzionamento individuale in una vasta gamma di attività quotidiane. Per questi motivi il processo di invecchiamento – sano e patologico – è divenuto di centrale interesse per lo studio della percezione del tempo, in funzione dei numerosi cambiamenti, neurali e cognitivi, che lo caratterizzano. In particolare, esistono evidenze, sia nell'invecchiamento che in specifiche popolazioni cliniche, a sostegno di una certa dissociabilità tra processi espliciti e impliciti di percezione del tempo. Mentre i compiti espliciti indagano quei giudizi di stima temporale formulati consapevolmente e deliberatamente dai partecipanti, i compiti impliciti richiedono, viceversa, un'elaborazione inconsapevole della dimensione temporale. Nell'invecchiamento si osserva un declino età-dipendente, oltre che legato ad un declino cognitivo più generalizzato, nella prestazione a compiti espliciti; al contrario tale declino non sembra interessare la prestazione a compiti impliciti. Nel complesso infatti si evidenzia una relativa stabilità nell'arco di vita, e indipendente dalla presenza di eventuali processi neuropatologici, nella percezione implicita, e cioè inconsapevole, del tempo. Il presente elaborato si è proposto così di studiare la percezione implicita del tempo in un campione di anziani (> 65 anni) sani e con deterioramento cognitivo di diverso tipo e grado. A questo scopo sono stati somministrati 3 diversi compiti computerizzati di tempo implicito: un compito di foreperiod, uno di orientamento temporale e uno di preparazione temporale in presenza di ritmo regolare e irregolare. Preliminarmente ai partecipanti è stato somministrato il MMSE al fine di definire il quadro cognitivo generale di ciascuno. Ogni partecipante è stato valutato in un'unica sessione individuale della durata di 90 minuti circa.

Indice

Abstract.....	3
Indice.....	5
CAPITOLO 1 – PERCEZIONE DEL TEMPO: PROSPETTIVE TEORICHE.....	8
1.1 Percezione del tempo: un excursus.	8
1.2 Percezione implicita del tempo.....	17
1.3 Basi neurali della percezione implicita del tempo.	27
CAPITOLO 2 – PERCEZIONE DEL TEMPO IMPLICITA E INVECCHIAMENTO	34
2.1 Il processo fisiologico di invecchiamento tra perdite e guadagni.....	34
2.1.1 Invecchiamento e processi di compensazione: il modello PASA.	37
2.1.2 Invecchiamento e processi di compensazione: il modello HAROLD.....	39
2.2 Invecchiamento patologico: demenze e deterioramento cognitivo.....	40
2.2.1 L’applicazione del modello STAC allo studio dell’invecchiamento patologico.	43
2.3 Percezione del tempo implicita nell’invecchiamento sano e patologico.....	47
CAPITOLO 3 – STIMA DEL TEMPO IMPLICITA IN UN CAMPIONE DI ANZIANI SANI E CON DETERIORAMENTO COGNITIVO	53
3.1 Obiettivi.....	53
3.2 Metodo.	53

3.2.1 Partecipanti.	53
3.2.2 Materiali.	54
Livello cognitivo.	54
Compiti di tempo implicito.	55
3.2.3 Procedura.	58
3.3 Risultati.	58
3.4 Discussione e conclusioni.	63
Bibliografia	69

CAPITOLO 1 – PERCEZIONE DEL TEMPO:

PROSPETTIVE TEORICHE

1.1 Percezione del tempo: un excursus.

Il costrutto di ‘percezione del tempo’ è stato recentemente definito come la ‘percezione della durata, della simultaneità o della successione nel passare del tempo’ (Wearden, 2016). Esso, più nello specifico, è stato concettualizzato come il ricordo della durata soggettiva di un evento, a sua volta operazionalizzato come l’abilità di stimare la quantità di tempo intercorso tra un evento passato e il momento presente o tra due eventi passati (un meccanismo cosiddetto “distance-based”); tale meccanismo si differenzia da un processo, al contrario, location-based ed essenzialmente di natura mnemonica, legato al ricordo rispetto al *quando* un dato evento si è verificato nel passato (Grondin, 2010). Come introduzione al tema possiamo dunque pensare alla percezione del tempo come alla capacità di percepire e stimare accuratamente una certa *durata* o estensione temporale.

Negli anni è emersa una forte consapevolezza rispetto alla centralità che la struttura temporale degli eventi occupa rispetto alla nostra percezione del mondo (Grondin, 2010): il “tempo psicologico” è divenuto infatti oggetto di interesse, dapprima filosofico, e in un secondo momento anche scientifico. Il costrutto di percezione del tempo può essere ulteriormente delineato e circoscritto, più nello specifico, al concetto di “stima temporale”, ovvero la capacità misurabile del soggetto di giudicare più o meno accuratamente l’estensione di una certa durata temporale. Quest’ultima definizione infatti ben si adatta ad uno studio scientifico-sperimentale della percezione del tempo, consentendone in questo modo anche una misurazione oggettiva.

Da un punto di vista storico le prime teorie psicologiche formulate sul tema risalgono agli anni ‘60 del ‘900, le quali ipotizzarono l’esistenza di un ‘orologio interno’, e cioè un sistema dedicato e indipendente per l’elaborazione del tempo, per quanto in interazione anche con altri sistemi cognitivi. Più nello specifico, tali teorie presero avvio dai lavori di Creelman (1962) e Treisman (1963), i quali proposero tre meccanismi fondamentali di percezione del tempo in interazione reciproca (Figura 1):

- Un pacemaker, che emette una serie di pulsazioni in funzione dell’estensione della durata presentata (maggiore è l’estensione di quest’ultima, maggiore sarà il numero di pulsazioni prodotte),

- Un accumulatore, in cui le pulsazioni precedentemente generate dal pacemaker vengono temporaneamente immagazzinate,
- Un processo decisionale che, in interazione con un magazzino di memoria, permette al soggetto di selezionare un adeguato outcome/giudizio di stima temporale.

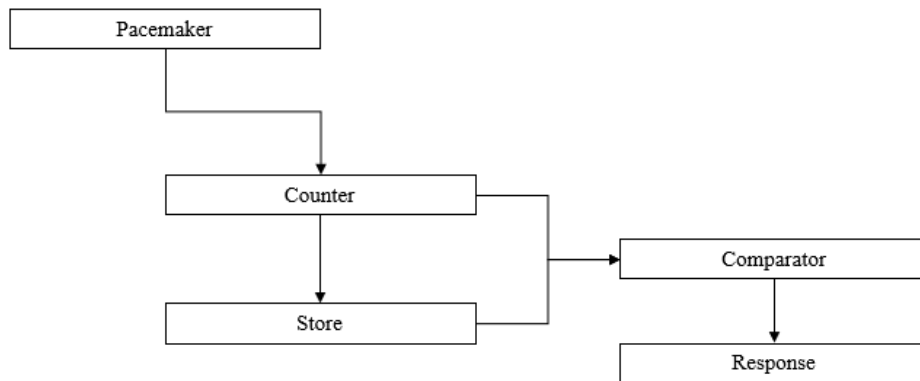


Figura 1. Schematizzazione del modello proposto da Treisman (1963). Fonte: Wearden, J. (2016). *The psychology of time perception*. Palgrave Macmillan UK Imprint: Palgrave Macmillan.

Nello specifico due sono le principali prospettive all'interno di questa cornice teorica.

Oscillator models (1). Tali modelli ben si adattano a tutte quelle situazioni in cui una serie di intervalli temporali sono segnalati da una sequenza di stimoli, ovvero a tutti quei casi in cui l'ambiente propone una sequenza ritmica di eventi (Grondin, 2010). Una delle più importanti teorie all'interno di questa cornice teorica è la cosiddetta “Dynamic Attending Theory” (DAT) proposta da Jones & Boltz (1989): essa propone come un'adeguata capacità di stimare correttamente una serie di durate temporali dipenda dalla sincronizzazione tra la sequenza di stimolazioni proposte dall'ambiente e le rispettive pulsazioni generate internamente. Tale teoria viene anche definita *future-oriented attending mode*, poiché la regolarità nella presentazione degli stimoli permette in qualche modo di predire il momento in cui si presenterà lo stimolo successivo.

Pacemaker-counter models (2). La più importante teoria tra questi modelli è la “Scalar Expectancy Theory” – SET (Figura 2), che riprende il modello inizialmente proposto da Creelman e Treisman, ampliandolo e proponendo una serie di interazioni tra orologio interno e altri processi cognitivi (Church & Gibbon, 1982; Gibbon, 1977). Il principale

contributo di questa teoria è stato quello di meglio definire l'apporto dei sistemi di memoria nella percezione del tempo. Nello specifico gli autori hanno proposto l'interazione dell'orologio interno con un magazzino di memoria di lavoro, con la funzione di conservare il numero di pulsazioni generate e raccolte da pacemaker e counter, e con un secondo magazzino di memoria a lungo termine contenente una durata di riferimento con cui, eventualmente, confrontare la durata immagazzinata nella memoria di lavoro. L'interazione tra questi due sistemi di memoria è fondamentale, ad esempio, in tutti quei compiti in cui al soggetto è chiesto di confrontare una certa durata temporale con una di riferimento precedentemente presentata. Un secondo contributo della SET è stato quello di proporre un ruolo dei processi attentivi nel mediare l'attività di pacemaker e counter.

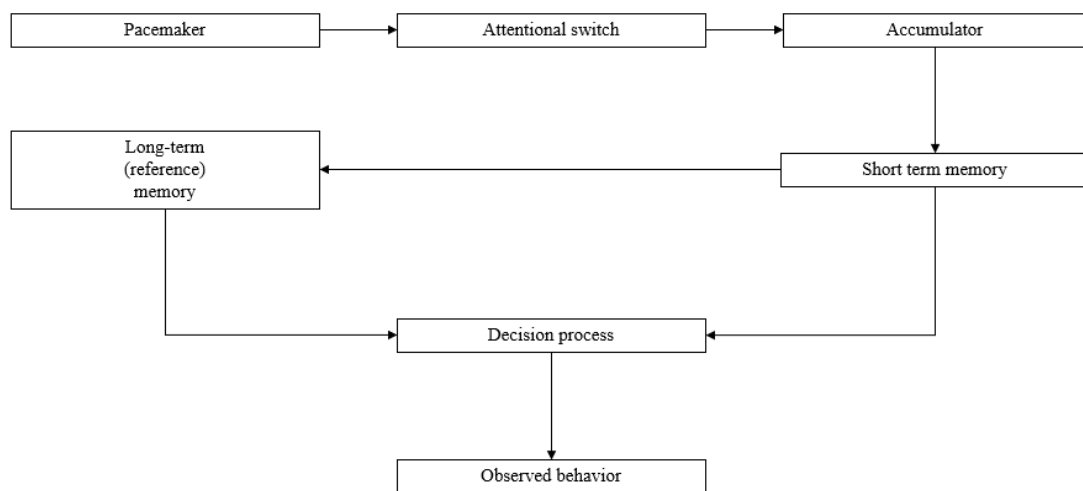


Figura 2. Scalar Expectancy Theory. Fonte: Wearden, J. (2016). *The psychology of time perception*. Palgrave Macmillan UK Imprint: Palgrave Macmillan.

Nel complesso è possibile concludere come molte delle prime proposte teoriche sul tema abbiano esplorato l'ipotesi di un orologio interno. Negli anni tuttavia lo studio della percezione del tempo è diventato via via più complesso: ad oggi infatti l'introduzione di molteplici manipolazioni sperimentali e lo studio di diverse popolazioni, cliniche e non, ha messo in luce come la percezione del tempo sia un'abilità estremamente complessa e diversificata, anche in relazione alle numerose interconnessioni con altre funzioni cognitive e al suo evolversi nell'arco di vita e, in particolar modo, nell'invecchiamento. Attualmente infatti uno degli obiettivi degli studi sul tema è quello di indagare, ed eventualmente chiarire, l'iniziale ipotesi di un orologio interno alla luce

delle più recenti evidenze sperimentali, al fine di distinguere tra una percezione del tempo in senso stretto e il ruolo che altre funzioni cognitive potenzialmente hanno nei giudizi di stima temporale.

Tale distinzione assume particolare rilevanza alla luce delle recenti evidenze circa l'esistenza di una duplice modalità di percezione del tempo: un'elaborazione esplicita, maggiormente dipendente dal funzionamento cognitivo generale, e un'elaborazione implicita, più automatica e indipendente. Da un punto di vista sperimentale, mentre i compiti di tempo esplicito richiedono al partecipante di prestare *consapevolmente* attenzione alla durata di una serie di stimolazioni e di fornire *esplicitamente* uno o più giudizi di stima temporale, nei compiti di tempo implicito, viceversa, al partecipante non viene fornita alcuna indicazione in merito alla dimensione temporale del compito, pur continuando quest'ultima a influenzarne la prestazione (Mioni et al., 2018).

Il presente elaborato si concentrerà nello specifico su una percezione implicita del tempo, che a sua volta ben si adatta al concetto di “preparazione temporale”, ovvero quell'abilità cognitiva che permette di anticipare il momento – nell'ordine del sub-secondo – in cui uno specifico evento potrebbe verificarsi (Vatakis et al., 2018). Più nello specifico questo tipo di abilità viene in genere indagato attraverso 3 diversi paradigmi sperimentali, di cui si propone qui di seguito una breve descrizione:

- Un compito di foreperiod
- Un compito di orientamento temporale
- Un compito di preparazione temporale in presenza di ritmo regolare e irregolare

La costruzione di un compito di *foreperiod* prevede la presentazione, in successione, di uno stimolo di avvertimento, seguito da uno stimolo target a cui il partecipante deve rispondere. I due stimoli sono inoltre intervallati da una certa distanza o durata temporale (“intervallo di foreperiod”). La centralità di questo compito nello studio del tempo implicito è legata all'evidenza in base a cui la manipolazione dell'intervallo di foreperiod influenzerebbe i tempi di reazione (RT) nel comportamento di risposta del partecipante. Tali evidenze si rifanno, nello specifico, a due fenomeni fondamentali, noti rispettivamente come “effetto foreperiod fisso” ed “effetto foreperiod variabile”. Questi verranno ripresi e discussi in seguito più nel dettaglio; per il momento è sufficiente notare come in genere i RT diminuiscano all'aumentare della durata dell'intervallo di foreperiod. Tale fenomeno è anche noto come “effetto foreperiod variabile” ed è considerato

indicativo di un'elaborazione implicita del tempo. In generale infatti, più tempo passa dopo lo stimolo di avvertimento, maggiore è la probabilità percepita che lo stimolo target stia per comparire e maggiore sarà, di conseguenza, la velocità di risposta del soggetto. Tale effetto può quindi essere considerato prova di un processamento implicito del tempo, dal momento che il soggetto tende in un certo senso ad “adeguare” implicitamente il proprio comportamento di risposta in funzione della durata dell'intervallo di foreperiod (Capizzi et al., 2022).

Il compito di *orientamento temporale* consiste in una variante del compito di Posner di orientamento spaziale, sviluppato al fine di verificare se l'attenzione può essere volontariamente orientata, non solo nello spazio, ma anche nel tempo (J. T. Coull & Nobre, 1998; Posner et al., 1980; Vatakis et al., 2018). In questo tipo di compito i partecipanti devono rispondere alla comparsa di uno stimolo target, a sua volta preceduto da uno stimolo cue che indica se il target comparirà, rispettivamente, dopo un intervallo (foreperiod) breve o lungo. Coerentemente con l'iniziale compito di orientamento spaziale proposto da Posner (1980), anche in questo caso gli stimoli possono essere presentati in condizioni predittive o, viceversa, non predittive. Anche in questo caso il compito verrà ripreso più nel dettaglio in seguito; in linea generale tuttavia i risultati mostrano RT minori per le condizioni predittive, rispetto a quelle non predittive: si tratta di un effetto coerente con quanto osservato nei compiti di orientamento spaziale, che suggerisce pertanto come esista un meccanismo di orientamento volontario dell'attenzione anche nel tempo, essendo il soggetto in grado di utilizzare le informazioni veicolate dagli stimoli cue per predire il momento di comparsa del target.

L'introduzione infine di compiti di *ritmo (regolare e irregolare)* nello studio sperimentale del tempo implicito muove dalla consapevolezza circa la dinamicità, e quindi ritmicità, dell'ambiente in cui viviamo: di qui l'interesse per la percezione del tempo indotta non solo da stimoli statici, ma anche maggiormente ritmico-dinamici (Vatakis et al., 2018). Da un punto di vista metodologico il compito richiede al partecipante di rispondere alla comparsa di uno stimolo target preceduto da una serie di segnali di avvertimento (tipicamente di tipo uditivo) presentati in sequenza regolare o irregolare. In genere si osservano una maggior accuratezza e RT minori in presenza di ritmo regolare. È inoltre importante evidenziare come, a differenza del meccanismo di

orientamento temporale, l'esposizione a stimolazioni ritmiche induca un orientamento automatico (e non volontario) dell'attenzione nel tempo.

Una trattazione più approfondita di questi tre compiti verrà proposta più avanti all'interno della presente trattazione.

È opportuno evidenziare come i primi studi e le prime teorie, precedentemente discusse, sul tema abbiano indagato una percezione fondamentalmente esplicita del tempo. Solo in un secondo momento sono emerse evidenze a sostegno di una dissociabilità tra processi espliciti e impliciti. Gli studi a questo proposito hanno distinto tra tempo esplicito e implicito da un duplice punto di vista: sia da un punto di vista cognitivo che da un punto di vista neurofunzionale. Lo studio di diverse popolazioni, cliniche e non, ha permesso infatti di mettere in luce non solo come tale dissociabilità si manifesti sul piano comportamentale, ma anche come tempo esplicito e tempo implicito attivino, almeno parzialmente, regioni cerebrali differenti (J. Coull & Nobre, 2008; Mioni et al., 2018; Triviño et al., 2011).

Le basi neurali della percezione del tempo verranno trattate più avanti all'interno della presente trattazione; per il momento è opportuno delineare come compiti espliciti e impliciti di percezione del tempo si accompagnino a pattern comportamentali diversi (in termini di prestazione) anche all'interno di uno stesso gruppo di partecipanti. È il caso ad esempio di Soltanlou et al. (2020) che hanno rilevato in un gruppo di giovani pattern opposti nella prestazione ad un compito, rispettivamente, esplicito e implicito in funzione del range delle durate proposte. Se infatti per durate brevi, nell'ordine cioè del sub-secondo, si è osservata una sovrastima degli intervalli proposti nel compito implicito rispetto a quello esplicito, per intervalli lunghi (superiori a 1 secondo) è stato osservato il pattern opposto. Nel complesso quindi questo ed altri studi hanno suggerito una generale dissociabilità, in riferimento alla popolazione sana, tra processi espliciti e impliciti di percezione del tempo; altri autori hanno poi approfondito questa ipotesi anche all'interno di diverse popolazioni cliniche. Si citano a titolo di esempio gli studi sulla malattia di Parkinson o su pazienti con lesione frontale, che hanno permesso di evidenziare – a fronte di processi neuropatologici diversi – una generale preservazione della percezione implicita del tempo, a fronte di un declino, anche significativo, nella componente esplicita (Mioni et al., 2018; Triviño et al., 2011).

La percezione implicita del tempo è dunque tendenzialmente risparmiata in diverse popolazioni cliniche, oltre che maggiormente stabile nell'arco di vita e, in particolare, nell'invecchiamento. Il presente elaborato si propone infatti di approfondire la percezione implicita del tempo in età avanzata, distinguendo tra un invecchiamento "sano" e quell'invecchiamento, al contrario, caratterizzato da processi neurodegenerativi di diverso tipo e grado.

Per introdurre il tema del tempo implicito nel corso dell'invecchiamento, è opportuno innanzitutto evidenziare come, in linea generale, percezione esplicita e implicita del tempo seguano due diverse traiettorie evolutive nell'arco di vita (Droit-Volet & Coull, 2016). Nello specifico è emerso infatti come l'abilità di percepire esplicitamente lo scorrere del tempo migliori proporzionalmente allo sviluppo di funzioni cognitive superiori, quali quelle esecutive, e come al contrario la percezione implicita del tempo sembri essere presente fin dall'infanzia e rimanga tendenzialmente stabile lungo l'arco di vita, indipendentemente dal livello cognitivo generale raggiunto in età diverse (Droit-Volet & Coull, 2016). In aggiunta, si osserva come questa generale stabilità nei processi di tempo implicito non riguardi solamente bambini, giovani e adulti, ma anche l'età avanzata (Capizzi et al., 2022; Droit-Volet et al., 2019; Hiroyasu & Yotsumoto, 2020).

Relativamente alla percezione del tempo nell'invecchiamento, Droit-Volet et al. (2019) in particolare hanno confrontato la performance di giovani e anziani in compiti, rispettivamente, di tempo esplicito e implicito. Nel compito di tempo esplicito al partecipante era chiesto innanzitutto di apprendere una durata standard di intervallo tra due stimoli. In una fase successiva venivano poi presentate sia durate standard, sia durate inferiori o superiori rispetto a quella precedentemente appresa. Compito del partecipante era quello di giudicare se ciascuna delle durate man mano presentate corrispondeva o meno a quella di riferimento. Il compito di tempo implicito, pur utilizzando una procedura analoga, richiedeva al partecipante solo di premere un tasto il più velocemente possibile alla comparsa del secondo stimolo. I risultati mostrano in entrambi i compiti e in entrambi i gruppi – giovani e anziani – una miglior performance in presenza di durate standard. Si osservano tuttavia alcune differenze età-dipendenti a seconda del compito usato. Nel compito esplicito gli anziani mostrano, rispetto ai giovani, una maggior variabilità nei giudizi forniti; questo calo nella performance correla inoltre, non solo con l'età, ma anche con le ridotte risorse attentive che caratterizzano il gruppo di anziani. Nel compito

implicito i risultati mostrano invece effetti maggiormente eterogenei. Il gruppo di giovani, più nello specifico, mostra RT maggiori in risposta ai target che compaiono prima o dopo rispetto alla durata standard; gli anziani al contrario, pur mostrando una performance simile a quella dei giovani in risposta a target che compaiono prima rispetto alla durata di riferimento, in risposta a target che compaiono dopo presentano RT del tutto equiparabili a quelli mostrati in presenza di durate standard. Tali risultati suggeriscono quindi come gli anziani facciano maggior affidamento alla probabilità di comparsa dello stimolo target in funzione dello scorrere del tempo (“effetto foreperiod”). Tale studio conferma dunque una sostanziale dissociabilità tra tempo esplicito e implicito e suggerisce un maggior affidamento in età avanzata a un’elaborazione implicita della dimensione temporale (Droit-Volet et al., 2019).

Risultati analoghi sono stati ottenuti da Capizzi et al. (2022), i quali hanno indagato la percezione del tempo in un gruppo di anziani sani e con deterioramento cognitivo, utilizzando un compito di bisezione (tempo esplicito) e uno di foreperiod (tempo implicito). Il compito di bisezione ha evidenziato un peggioramento della performance all’aumentare dell’età e al diminuire dei punteggi ottenuti al Mini Mental State Examination (MMSE): coerentemente con i risultati già discussi, la percezione esplicita del tempo sembra pertanto dipendere in modo significativo dall’età e dal livello cognitivo generale. Relativamente al compito di tempo implicito, i risultati mostrano un generale rallentamento nei RT all’aumentare dell’età e al diminuire dei punteggi ottenuti al MMSE; tale rallentamento non è tuttavia da considerarsi indicativo di una compromissione nell’elaborazione implicita del tempo in senso stretto, la quale, al contrario, è legata piuttosto all’effetto foreperiod. In linea con i risultati precedentemente discussi (Droit-Volet et al., 2019), si osserva infatti un incremento nell’effetto foreperiod all’aumentare dell’età, indicativo, di nuovo, di una generale preservazione dell’elaborazione temporale implicita all’avanzare dell’età. I risultati mostrano tuttavia anche un minor effetto foreperiod al diminuire del funzionamento cognitivo generale (punteggi bassi al MMSE): tale evidenza suggerisce pertanto come anche l’elaborazione implicita del tempo possa dipendere, almeno in parte, da abilità cognitive superiori (Capizzi et al., 2022).

Al fine di meglio definire la relazione tra tempo implicito e funzionamento cognitivo, Hyroyasu & Yotsumoto (2020), in un primo studio, hanno indagato la prestazione di

giovani e anziani – sia esplicita che implicita – a un compito di ritmo. La scelta di questo tipo di compito è dettata dalla necessità di differenziare la percezione del tempo in senso stretto dalla potenziale influenza su di essa di funzioni cognitive superiori: è noto infatti come i compiti di ritmo richiedano un basso grado di controllo cognitivo. Il compito nello specifico prevedeva la presentazione di sequenze di stimoli uditivi: nel compito di tempo esplicito ai partecipanti era chiesto di indicare se ciascuna sequenza di suoni presentasse un ritmo regolare o, al contrario, irregolare; nel compito di tempo implicito, viceversa, a ciascun partecipante veniva chiesto di premere un tasto ogniqualvolta sentisse un suono più breve rispetto agli altri. I risultati hanno evidenziato una differenza statisticamente significativa tra giovani e anziani esclusivamente nel compito di tempo esplicito: la performance del gruppo di anziani era cioè peggiore rispetto a quella dei giovani, indipendentemente dal fatto che la scelta di un compito di ritmo avesse minimizzato al massimo il potenziale ruolo di risorse cognitive e attentive sulla prestazione. Viceversa non è emersa alcuna differenza significativa nella prestazione di giovani e anziani al compito di tempo implicito (Hiroyasu & Yotsumoto, 2020).

Allo scopo di indagare ulteriormente la relazione tra tempo implicito e funzioni cognitive superiori, gli stessi autori hanno poi condotto un secondo studio che prevedeva l'utilizzo di un paradigma di doppio compito. Lo stesso compito di tempo implicito proposto nello studio 1 veniva cioè svolto contemporaneamente a un compito di riconoscimento. Se nel complesso l'accuratezza delle risposte non risentisse in modo significativo dell'aumento del carico cognitivo, i risultati hanno comunque mostrato un generale rallentamento nei RT età-dipendente e in funzione della manipolazione del carico mnemonico offerto dal compito di memoria (Hiroyasu & Yotsumoto, 2020).

I risultati fino a qui discussi, nel complesso, suggeriscono come l'invecchiamento si caratterizzi per una relativa preservazione della percezione implicita del tempo, a fronte di un declino selettivo a carico della componente esplicita. Questo diverso andamento costituisce inoltre un'ulteriore prova a sostegno di un diverso grado di dipendenza di questi due processi dal funzionamento cognitivo generale. È noto infatti come l'invecchiamento sia caratterizzato da un certo grado di declino a carico di specifiche funzioni cognitive; è quindi possibile che il calo osservato nella performance a compiti di tempo esplicito sia, almeno in parte, attribuibile ad un declino cognitivo più generalizzato. Diversamente, la generale stabilità in compiti di tempo implicito

sembrerebbe suggerire una maggior indipendenza di quest'ultimo da funzioni cognitive superiori (Capizzi et al., 2022; Mioni, Cardullo, et al., 2021). Nonostante ciò i risultati emersi indicano comunque una parziale dipendenza del tempo implicito dalle funzioni mnesiche e attenzionali in funzione dell'età (Hiroyasu & Yotsumoto, 2020). Ciò suggerisce come in età avanzata la prestazione in compiti di tempo implicito, per quanto generalmente preservata rispetto a quella in compiti di tempo esplicito, dipenda almeno in parte anche dal carico cognitivo richiesto.

Nel corso dell'elaborato verrà tuttavia preso in considerazione, non solo l'invecchiamento sano, ma anche quello patologico, vista la centralità che la dimensione temporale assume nel mantenimento di un adeguato livello di autonomia in una vasta gamma di attività quotidiane. Obiettivo ultimo dell'elaborato sarà infatti quello di confrontare la prestazione di giovani, anziani sani e anziani con deterioramento cognitivo di diversi grado e natura nei tre paradigmi sperimentali di tempo implicito precedentemente proposti.

In conclusione è possibile affermare come una vasta gamma di studi abbia inizialmente indagato una percezione esplicita del tempo. Attualmente un numero consistente di autori ha tuttavia colto l'importanza di studiare anche un'elaborazione implicita della dimensione temporale, alla luce della relativa stabilità nei processi impliciti di percezione del tempo nell'arco di vita e nell'invecchiamento. Sarà infine opportuno meglio delineare, anche in riferimento ai risultati ottenuti, la relazione tra tempo implicito e funzionamento cognitivo, al fine di chiarire l'ipotesi di una relativa indipendenza del tempo implicito da funzioni cognitive di ordine superiore.

1.2 Percezione implicita del tempo.

Come già argomentato, la sostanziale differenza tra tempo esplicito e implicito risiede nel diverso grado di consapevolezza richiesto all'interno dei compiti sperimentali che indagano rispettivamente questi due processi: se i compiti espliciti richiedono che il partecipante fornisca deliberatamente e consapevolmente una stima di carattere temporale, ciò non avviene nei compiti di tempo implicito. In questi infatti il partecipante non è consapevole circa la dimensione temporale del compito, la quale tuttavia viene comunque elaborata dal soggetto a livello implicito-inconsapevole: l'influenza che questa ha sulla sua prestazione è oggetto d'indagine degli studi sul tempo implicito (J. Coull & Nobre, 2008; Mioni et al., 2018). Generalmente infatti si è osservato come il partecipante,

quando esperisce una certa regolarità temporale, adatti spontaneamente il suo comportamento di risposta ad essa. Più nello specifico si osserva un incremento nell'abilità soggettiva di "preparazione temporale", che suggerisce in conclusione un processo implicito di acquisizione e mantenimento di una traccia della struttura temporale percepita (Droit-Volet & Coull, 2016; Vatakis et al., 2018).

I compiti di tempo implicito sono inoltre generalmente legati a processi di base, percettivi e motori (J. Coull & Nobre, 2008). Essi indirizzano infatti la consapevolezza del partecipante verso la dimensione percettiva e/o motoria del compito stesso, chiedendogli ad esempio di fornire un giudizio circa le caratteristiche percettive di uno stimolo o di attuare una specifica risposta motoria in risposta ad uno stimolo target (J. Coull & Nobre, 2008); si ricorda tuttavia come oggetto di studio sia la prestazione del partecipante in relazione alla struttura temporale delle stimolazioni proposte.

Qui di seguito verranno meglio descritti i più importanti compiti di tempo implicito, anche alla luce degli effetti comportamentali che diverse manipolazioni sperimentali sortiscono nei partecipanti, al fine ultimo di indagare ulteriormente l'ipotesi di un'elaborazione implicita del tempo.

Compito di foreperiod.

Si ricorda brevemente come esso preveda la presentazione in sequenza di una croce di fissazione, un segnale di avvertimento (visivo o uditivo), un intervallo di foreperiod – manipolato sperimentalmente – e uno stimolo target a cui il soggetto deve rispondere.

Due sono le principali varianti utilizzate di questo compito: un paradigma di foreperiod fisso e un paradigma di foreperiod variabile. L'importanza di distinguere tra i due è dovuta all'osservazione di pattern di risposta generalmente opposti a seconda del paradigma utilizzato.

Più nello specifico, il paradigma di foreperiod fisso prevede la presentazione di uno stesso intervallo di foreperiod – breve o lungo – all'interno di uno stesso blocco di trials. Tipicamente in questo tipo di condizione si osservano RT minori per intervalli di foreperiod brevi e, viceversa, RT maggiori per intervalli di foreperiod lunghi ("effetto foreperiod fisso"). Tale fenomeno è in parte spiegato dal fatto che, nella percezione del tempo, l'incertezza relativa al momento di comparsa dello stimolo target aumenta all'aumentare della durata dell'intervallo di foreperiod (Gibbon, 1977): questo spiegherebbe perché in presenza di foreperiod lunghi si osserva un aumento dei RT.

Maggiormente esplicativi, rispetto alla percezione implicita del tempo, sono tuttavia i pattern di risposta osservati in paradigmi di foreperiod variabile, in cui intervalli di foreperiod brevi e lunghi vengono presentati, in modo randomizzato e con la stessa probabilità di comparsa, all'interno di uno stesso blocco di trials.

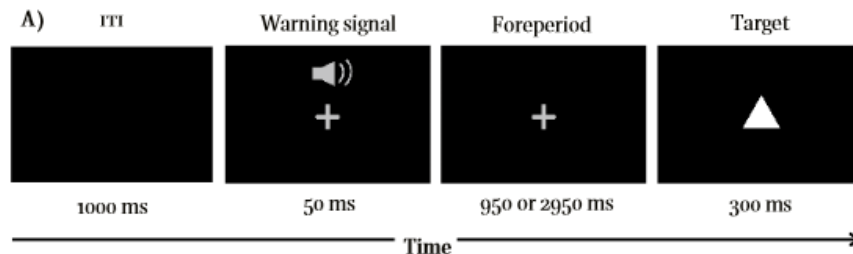


Figura 3. Disegno sperimentale del paradigma di foreperiod variabile usato da Vallesi, Lozano & Correa (2013). Fonte: Vatakis, A., Balci, F., Luca, M. D., Correa, Á. (2018). *Timing and Time Perception: Procedures, Measures, & Applications*. Brill.

Tipicamente in questo tipo di paradigma si osserva un pattern di risposta opposto rispetto a quanto osservato nei paradigmi di foreperiod fisso: i minori RT sono infatti generalmente associati agli intervalli di foreperiod più lunghi (“effetto foreperiod variabile” o “effetto foreperiod”). Infatti la probabilità condizionale percepita che il target compaia aumenta con il passare del tempo, e cioè aumenta in presenza di intervalli di foreperiod lunghi; sembra di conseguenza che i partecipanti in paradigmi di foreperiod variabile apprendano, implicitamente, che se il target non è comparso ad un intervallo di foreperiod breve, allora necessariamente comparirà ad un intervallo lungo (Elithorn & Lawrence, 1955). In conclusione questo spiegherebbe la diminuzione dei RT in presenza di intervalli lunghi, a dimostrazione dell'intervento di un processo di preparazione temporale a livello implicito (Vatakis et al., 2018). L'effetto foreperiod costituisce quindi, alla luce di quanto argomentato, un'importante evidenza sperimentale a sostegno dell'ipotesi di un'elaborazione implicita del tempo.

Unitamente all'effetto foreperiod, nei paradigmi di foreperiod variabile si osservano anche degli effetti cosiddetti “sequenziali”, riguardanti l'influenza di un intervallo di foreperiod precedente (in termini di durata) sulla prestazione ad un intervallo di foreperiod successivo. A questo proposito infatti Vallesi et al. (2013) hanno osservato i seguenti effetti:

- Minori RT per intervalli di foreperiod brevi quando questi sono preceduti da un intervallo breve, e RT maggiori se preceduti, viceversa, da un intervallo lungo.
- In presenza di intervalli di foreperiod lunghi, viceversa, i RT sembrano non dipendere in modo significativo dalla durata dell'intervallo precedente.

Nel complesso è dunque possibile concludere come esistano diverse evidenze sperimentali a supporto di una percezione implicita del tempo; ne sono un esempio i pattern di risposta osservati in paradigmi di foreperiod variabile, con particolare riferimento all'effetto foreperiod e agli effetti sequenziali (Figura 4).

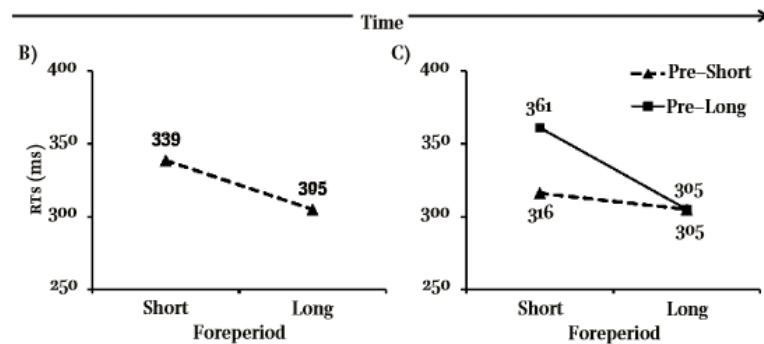


Figura 4. Effetto foreperiod (B) ed effetti sequenziali (C) emersi nello studio di Vallesi et al. (2013). Fonte: Vatakis, A., Balci, F., Luca, M. D., Correa, Á. (2018). *Timing and Time Perception: Procedures, Measures, & Applications*. Brill.

È infine opportuno evidenziare come effetto foreperiod ed effetti sequenziali, per quanto entrambi legati ad un'elaborazione implicita del tempo, siano, almeno in parte, dissociabili. Esistono infatti evidenze a supporto del fatto che essi, non solo dipendano da processi cognitivi distinti, ma siano anche associati all'attivazione di aree cerebrali diverse. Più nello specifico è emerso come gli effetti sequenziali siano mediati da processi fondamentalmente automatici, laddove l'effetto foreperiod è, al contrario, associato a processi maggiormente controllati. Coerentemente con tale ipotesi è anche emerso come l'effetto foreperiod – diversamente dagli effetti sequenziali – si associ all'attivazione di strutture prefrontali, tipicamente legate ad un maggior grado di controllo cognitivo (Mioni et al., 2018; Vatakis et al., 2018). Tali considerazioni aiutano in ultima battuta a chiarire la relazione tra tempo implicito e funzionamento cognitivo generale, in linea con gli obiettivi del presente elaborato. Se infatti è ormai consolidata l'ipotesi secondo cui il tempo implicito sarebbe maggiormente indipendente da funzioni cognitive superiori rispetto al tempo esplicito, tali evidenze sperimentali sembrano comunque suggerire una

certa dissociabilità tra processi diversi di tempo implicito (nel caso specifico un maggior automatismo alla base degli effetti sequenziali, a fronte di un maggior grado di dipendenza dell'effetto foreperiod dal funzionamento cognitivo generale).

Compito di orientamento temporale.

Riprendendo quanto descritto nel paragrafo precedente, esso prevede la presentazione in sequenza di una croce di fissazione, uno stimolo cue (visivo o uditivo), un intervallo di foreperiod – manipolato sperimentalmente – e uno stimolo target a cui il soggetto deve rispondere. Il partecipante viene istruito riguardo all'associazione tra la presentazione di uno specifico stimolo cue e la durata dell'intervallo di foreperiod che segue, in modo tale che egli utilizzi l'informazione temporale veicolata dal cue per adattare il proprio comportamento di risposta allo stimolo target.

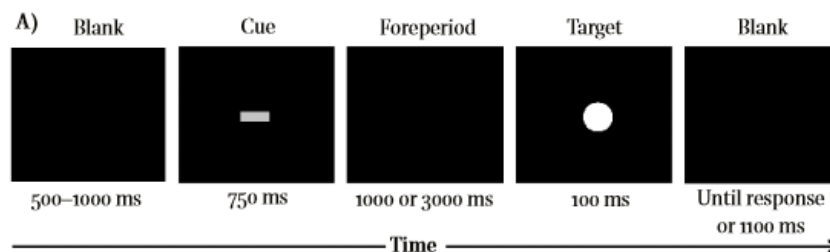


Figura 5. Disegno sperimentale del compito di orientamento temporale usato da Capizzi, Sanabria & Correa (2012). Nello studio originale il cue “linea corta” era associato alla comparsa del target dopo un intervallo di foreperiod breve (1000 ms), il cue “linea lunga” era invece associato alla comparsa del target dopo un intervallo di foreperiod lungo (3000 ms). Fonte: Vatakis, A., Balci, F., Luca, M. D., Correa, Á. (2018). *Timing and Time Perception: Procedures, Measures, & Applications*. Brill.

Lo stimolo cue può essere effettivamente predittivo rispetto al momento di comparsa dello stimolo target (condizioni valide/predittive); diversamente il target può apparire in un momento precedente o successivo rispetto a quanto indicato dal cue (condizioni invalide/non predittive).

Nel complesso si osservano – per intervalli di foreperiod brevi – RT minori nelle condizioni valide rispetto a quelle invalide (in linea con quanto tipicamente osservato nel paradigma di Posner di orientamento spaziale originale): questo effetto suggerisce il coinvolgimento di un processo di orientamento temporale attraverso cui il soggetto sarebbe in grado di servirsi delle informazioni veicolate dal cue per predire il momento

di comparsa del target. Tale risultato tuttavia è limitato alle condizioni di foreperiod breve, mentre per intervalli lunghi non si osserva un effetto di orientamento temporale significativo. A spiegazione di ciò è infatti possibile che il partecipante, nel momento in cui il target non compare dopo un intervallo breve come indicato dal cue (condizione non predittiva), abbia il tempo per attuare un processo di ri-orientamento dell'attenzione, aspettando così la comparsa del target dopo un intervallo di foreperiod più lungo (e mostrando pertanto dei RT analoghi a quelli osservati nelle condizioni predittive).

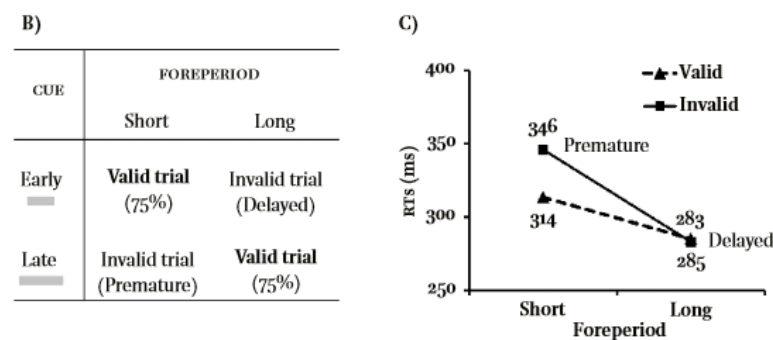


Figura 6. Possibili tipologie di trials nel compito di orientamento temporale (B) ed effetti di orientamento temporale in funzione della validità del cue e della durata dell'intervallo di foreperiod (C). Risultati ottenuti da Capizzi, Sanabria & Correa (2012). Fonte: Vatakis, A., Balci, F., Luca, M. D., Correa, Á. (2018). *Timing and Time Perception: Procedures, Measures, & Applications*. Brill.

Un ulteriore aspetto di cui tener conto nella costruzione di un compito di orientamento temporale è la proporzione tra il numero di condizioni predittive e non. La maggior parte degli studi utilizza un numero di condizioni valide pari al 75%; altri studi tuttavia prevedono la somministrazione di condizioni esclusivamente valide, la prestazione alle quali viene poi confrontata con quella ad una sessione “neutra”, in cui cioè il cue non veicola alcuna informazione temporale, fungendo così solo da segnale di avvertimento. Questo tipo di paradigma è generalmente utilizzato nello studio di popolazioni particolarmente vulnerabili, tra cui anche la popolazione anziana, in quanto permette al partecipante di utilizzare con sicurezza l'informazione veicolata dal cue (Vatakis et al., 2018).

È inoltre possibile massimizzare gli effetti di orientamento temporale separando in due blocchi i cue che indicano un intervallo di foreperiod breve (‘early’ temporal cues) da quelli che, al contrario, preannunciano un intervallo lungo (‘late’ temporal cues).

Ciascun blocco conterrà a sua volta condizioni sia predittive che non nella proporzione stabilita. Di nuovo questo tipo di disegno sperimentale è consigliato per lo studio di popolazioni particolarmente vulnerabili, poco motivate o facilmente affaticabili.

Infine adottare specifici accorgimenti nella costruzione del task può contribuire a massimizzare ulteriormente gli effetti di orientamento temporale. Sono infatti indicati l'utilizzo di stimoli cue particolarmente intuitivi, come ad esempio figure simboliche; l'inserimento di un numero adeguato di trials di prova attraverso cui i partecipanti possano familiarizzare con l'associazione tra cue e intervallo di foreperiod; l'esplicitazione all'interno delle istruzioni della funzione predittiva dello stimolo cue.

Nel complesso il compito di orientamento temporale fornisce un chiaro esempio di come anche la percezione implicita del tempo sia in parte mediata da processi controllati, oltre che automatici (Vatakis et al., 2018). Esso infatti dimostra come l'attenzione può essere volontariamente orientata, non solo nello spazio, ma anche nel tempo (J. T. Coull & Nobre, 1998; Posner et al., 1980), confermando, similmente a quanto argomentato in merito all'effetto foreperiod, un ruolo di processi maggiormente controllati anche nella percezione implicita del tempo.

Compito di ritmo regolare e irregolare.

Il disegno sperimentale prevede la presentazione in sequenza di una croce di fissazione, di una serie di segnali – visivi o uditivi – di avvertimento, di un intervallo di foreperiod manipolato sperimentalmente e di uno stimolo target, a cui il soggetto deve rispondere.

La più importante manipolazione sperimentale in questo tipo di compito consiste nel presentare gli stimoli di avvertimento in sequenza regolare, e cioè intervallati da una durata fissa, o, al contrario, in sequenza irregolare (a intervalli variabili). L'ipotesi di base è che, in presenza di target segnalati da una sequenza *ritmica e regolare* di stimoli di avvertimento, ci sia una riduzione nei RT in risposta al target stesso, rispetto a quanto accade, viceversa, nelle condizioni di ritmo irregolare. I risultati in genere confermano tale ipotesi, evidenziando così una maggior velocità di risposta in presenza di stimoli ambientali ritmici e regolari. Tale effetto è considerato indicativo di un'elaborazione implicita del tempo.

È inoltre opportuno sottolineare come tale effetto, per quanto osservato sia in presenza di segnali di avvertimento uditivi che visivi, sia maggiormente significativo per la modalità uditiva. È possibile infatti che la modalità uditiva, per sua natura, veicoli una

maggior ritmicità, portando così ad un miglioramento della performance (Bolger et al., 2014; Grondin, 2010; Vatakis et al., 2018). Questi risultati sono inoltre coerenti con ulteriori studi che mostrano, in generale e non solo in compiti di ritmo, una maggior sensibilità nella percezione del tempo per stimoli uditivi, rispetto a quanto si osserva per stimoli visivi (Grondin, 2003).

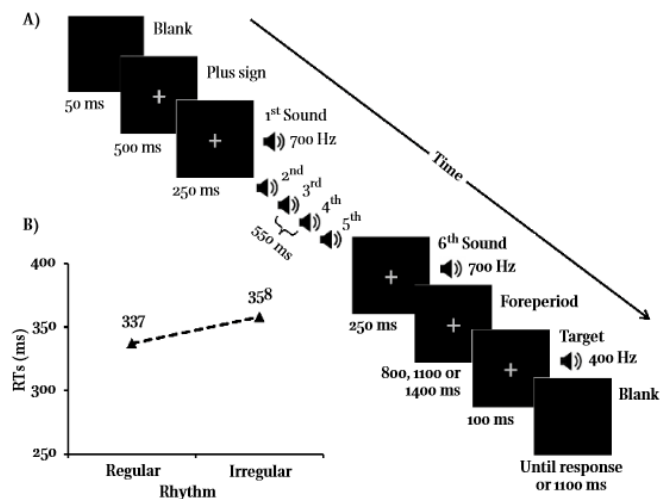


Figura 7. Disegno sperimentale del compito di ritmo (A) utilizzato da De La Rosa et al. (2012) e tempi di reazione osservati in funzione della presentazione di una sequenza regolare o irregolare 6 di segnali di avvertimento non predittivi (B). Fonte: Vatakis, A., Balci, F., Luca, M. D., Correa, Á. (2018). *Timing and Time Perception: Procedures, Measures, & Applications*. Brill.

Alcuni paradigmi sperimentali prevedono inoltre dei ritmi cosiddetti “predittivi”: essi cioè non fungono solo da segnali di avvertimento, ma predicono anche il momento di comparsa dello stimolo target, similmente a quanto avviene nei compiti di orientamento temporale. È possibile ad esempio che un ritmo veloce predica la comparsa del target dopo un intervallo di foreperiod breve, laddove uno stimolo più lento è associato ad un intervallo di foreperiod più lungo.

I risultati fino a qui discussi sono inoltre coerenti con quanto proposto dalla Dynamic Attending Theory (Ellis & Jones, 2010; Large & Jones, 1999), che considera l’attenzione un processo endogeno oscillatorio in grado di sincronizzarsi con un ritmo esterno (Vatakis et al., 2018), proponendo così una stretta relazione tra percezione del tempo e dinamicità dell’ambiente esterno.

Diverse evidenze sperimentali sostengono inoltre come la presentazione di una sequenza ritmica di stimoli richieda un orientamento *automatico* dell'attenzione, diversamente dai compiti di orientamento temporale maggiormente legati ad una componente attentiva volontaria (Bolger et al., 2014). Infatti non sono emerse differenze significative nella prestazione nel passaggio da una condizione di compito di ritmo ad una di doppio compito (in cui cioè il compito di ritmo veniva svolto contemporaneamente ad un altro task, con l'obiettivo di ridurre le risorse cognitive a disposizione del compito temporale). Tali evidenze mostrano pertanto una relativa stabilità nella percezione di ritmi, indipendentemente dalla quantità di risorse cognitive a disposizione (Cutanda et al., 2015; De La Rosa, Sanabria, Capizzi & Correa, 2012). Si ipotizza di conseguenza un certo automatismo nei processi attentivi implicati nei compiti di ritmo.

Più in generale si ricorda come esista una certa stabilità nell'arco di vita nella percezione implicita del tempo, presente molto precocemente nel corso dello sviluppo e generalmente risparmiata durante l'invecchiamento. La percezione implicita del tempo è infatti strettamente legata all'apprendimento – anch'esso implicito – delle regolarità statistiche presenti nell'ambiente: è noto come questa abilità si instauri in fasi precoci dell'arco di vita, consentendo il successivo sviluppo di processi di apprendimento ad un livello maggiore di consapevolezza e complessità (Droit-Volet & Coull, 2016).

Alla luce delle evidenze circa l'esistenza di un'elaborazione implicita del tempo, diviene inoltre rilevante approfondire la relazione tra quest'ultima e altre funzioni cognitive, la relazione tra tempo esplicito e tempo implicito e la compatibilità di questo con i più importanti modelli sulla percezione del tempo, inizialmente formulati indagando processi di natura esplicita.

Procedendo con ordine, è emerso come la percezione implicita del tempo sia in parte legata a meccanismi di natura attentiva, per quanto diversi autori ipotizzino una certa indipendenza del tempo implicito dal funzionamento cognitivo generale. In particolare si ricorda il ruolo della componente volontaria dell'attenzione nei compiti di orientamento temporale e, viceversa, di una componente più automatica in presenza di sequenze ritmiche di stimoli. A tal proposito alcuni studi di neuroimmagine hanno inoltre confermato l'attivazione – durante lo svolgimento di compiti di tempo implicito – di aree generalmente associate a processi di tipo attentivo (Bolger et al., 2014; J. T. Coull &

Nobre, 1998); le basi neurali della percezione implicita del tempo verranno meglio approfondite più avanti all'interno del presente elaborato.

Il coinvolgimento dell'attenzione nella percezione implicita del tempo richiama inoltre ad alcune considerazioni di ordine più generale relativamente alla dipendenza del tempo implicito da processi cognitivi controllati o, al contrario, automatici. La letteratura a questo proposito propone ipotesi diverse a seconda degli effetti considerati. Gli studi di doppio compito, in particolare, mostrano un sostanziale automatismo negli effetti sequenziali e, viceversa, la presenza di processi più controllati alla base degli effetti di foreperiod e di orientamento temporale (Capizzi et al., 2012; Cheng et al., 2021; Vatakis et al., 2018). Tali risultati sono interessanti anche in relazione alla possibilità di formulare ipotesi circa la potenziale dissociabilità di processi diversi di tempo implicito nell'arco di vita, con specifico riferimento alla distinzione tra processi automatici e controllati. Tali ipotesi verranno meglio discusse in seguito all'interno del presente elaborato.

Nel complesso, nonostante la grande complessità del tema, si conferma la dissociabilità tra tempo esplicito e tempo implicito. Diverse sono le evidenze sperimentali a sostegno: l'osservazione di traiettorie evolutive differenti, l'attivazione di aree cerebrali diverse, la relativa dipendenza da processi controllati (tempo esplicito) vs automatici (tempo implicito) (J. Coull & Nobre, 2008; Droit-Volet & Coull, 2016).

Considerando la dissociazione tra tempo esplicito e tempo implicito, è infine opportuno considerare la rilevanza dei modelli di percezione del tempo rispetto all'ipotesi di un'elaborazione implicita del tempo. Ulteriori studi sono necessari al fine di tracciare delle conclusioni certe. Nel complesso è comunque confermata, come già argomentato, la bontà della Dynamic Attending Theory nello spiegare (Jones & Boltz, 1989), non solo processi espliciti di percezione del tempo, ma anche processi impliciti, in particolar modo quando questi riguardano la presentazione di sequenze ritmiche di stimoli (Ellis & Jones, 2010; Large & Jones, 1999). Anche gli studi riguardo ai modelli pacemaker-counter e, in particolare, alla Scalar Expectancy Theory (Church & Gibbon, 1982; Gibbon, 1977) suggeriscono come tempo esplicito e implicito possano, in parte, condividere specifici meccanismi a livello di un'ipotetica rappresentazione temporale interna (Cheng et al., 2021). Il più importante contributo della SET riguarda l'ipotesi del ruolo della componente attentiva nella rappresentazione interna del tempo, confermata anche a livello implicito come già ampiamente argomentato.

1.3 Basi neurali della percezione implicita del tempo.

La dissociabilità tra tempo esplicito e tempo implicito ha stimolato lo studio di questi due processi anche da un punto di vista neurale. Diverse sono infatti le evidenze che mostrano come tempo esplicito e tempo implicito attivino, almeno in parte, regioni cerebrali differenti.

Di nuovo, la letteratura si è occupata in un primo momento dei correlati neurali del tempo *esplicito*, in relazione al quale è emerso come aree diverse siano selettivamente attivate in corrispondenza di fasi e processi specifici dell'elaborazione esplicita della dimensione temporale. Nel complesso si evidenzia tuttavia il ruolo chiave dei *gangli della base*, e in particolare del nucleo caudato destro e del putamen. Tali strutture sottocorticali sembrano infatti attivarsi trasversalmente e indipendentemente dal tipo di compito utilizzato, per quanto coinvolte soprattutto nella fase di codifica dell'informazione temporale, nella rappresentazione interna del tempo e nell'elaborazione di risposte motorie in compiti di tempo esplicito, come ampiamente documentato dallo studio di pazienti Parkinson (J. Coull & Nobre, 2008; Grondin, 2010; Mioni et al., 2018; Wiener et al., 2010). Ulteriori aree cerebrali coinvolte nell'elaborazione esplicita del tempo sono la porzione anteriore dell'area motoria supplementare (pre-SMA), la porzione laterale del cervelletto, la corteccia frontale inferiore destra, la corteccia prefrontale dorsolaterale (dlPFC) e la porzione posteriore della corteccia parietale destra (J. Coull & Nobre, 2008; Grondin, 2010; Wiener et al., 2010).

Dalla letteratura emerge invece come il tempo *implicito* attivi aree cerebrali almeno parzialmente distinte, oltre che una sostanziale lateralizzazione delle componenti esplicita e implicita della percezione del tempo, rispettivamente nell'emisfero destro e sinistro (Figura 8). Studi diversi sembrano infatti concordare nell'attribuire un ruolo significativo all'emisfero sinistro nella percezione implicita del tempo, laddove l'emisfero destro sarebbe maggiormente attivato da compiti espliciti (J. Coull & Nobre, 2008; J. T. Coull & Nobre, 1998; Wiener et al., 2010).

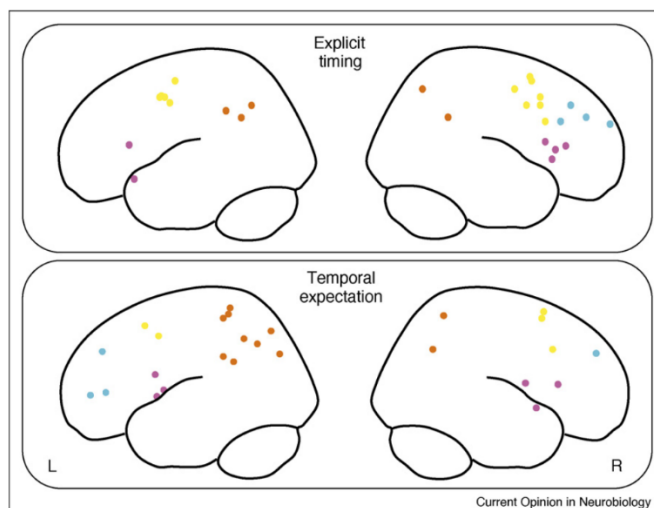


Figura 8. Ipotesi di un circuito fronto-parietale nella percezione del tempo, lateralizzato rispettivamente a destra in compiti espliciti, a sinistra in compiti impliciti. Fonte: Coull, J. T., and Nobre, A. C. (2008). *Dissociating explicit timing from temporal expectation with fMRI*. *Curr. Opin. Neurobiol.* 18, 137–144.

La lateralizzazione del tempo implicito nell'emisfero sinistro è coerente con alcune ipotesi formulate circa le funzioni di quest'ultimo, tra cui, in particolare, la capacità di anticipare la comparsa di eventi futuri; tale abilità è infatti notoriamente legata al concetto di “preparazione temporale” a livello implicito-inconsapevole (J. T. Coull & Nobre, 2008). Tale ipotesi deve tuttavia tener conto della grande eterogeneità dei risultati degli studi di neuroimmagine. Triviño et al. (2016) ad esempio hanno dimostrato una duplice attivazione degli emisferi destro e sinistro in un compito di orientamento temporale. Nello specifico è emersa l'attivazione della PFC destra nella condizione in cui l'intervallo di foreperiod aveva durata fissa; viceversa, nelle condizioni in cui la durata dell'intervallo di foreperiod variava in modo random tra i trials, si osservava un'attivazione preferenziale della PFC sinistra. Complessivamente esiste comunque un generale accordo circa l'attivazione preferenziale dell'emisfero sinistro nella percezione implicita del tempo, tant'è che, a spiegazione di ciò, è anche stato proposto un possibile ruolo del tempo implicito nei processi di rappresentazione interna del movimento e produzione linguistica, tipicamente lateralizzati a sinistra. È possibile che, in particolare, la corteccia parietale inferiore (Wiener et al., 2010) e la corteccia premotoria inferiore (area di Broca) sinistre abbiano un ruolo centrale non solo nei processi motori e linguistici, ma anche nell'elaborazione della struttura temporale degli eventi. È noto

infatti come tali processi richiedano una rapida integrazione temporale degli eventi necessari all'elaborazione di una sequenza motoria e/o linguistica strutturalmente e temporalmente corrette (J. T. Coull & Nobre, 1998; Rushworth et al., 1997).

Oltre a mostrare una sostanziale lateralizzazione a sinistra, il tempo implicito sembra inoltre attivare regioni cerebrali specifiche. Coull & Nobre (2008) in particolare hanno sistematizzato i risultati di studi di neuroimmagine diversi in compiti di tempo implicito di tipo percettivo. Nel complesso emerge un generale coinvolgimento di un *circuito motorio*, nonostante i compiti considerati all'interno dello studio non richiedessero alcun tipo di risposta motoria ai partecipanti. Più nello specifico è stato evidenziato come la corteccia motoria primaria e la corteccia premotoria siano particolarmente attive nei compiti di tempo implicito, anche percettivi. Questo risultato da un lato conferma l'ipotesi più generale di una maggior dipendenza del tempo implicito da processi di base (sensoriali e motori), dall'altro suggerisce come l'elaborazione implicita del tempo possa essere funzionale, nello specifico, all'ottimizzazione del comportamento motorio dell'individuo in risposta agli stimoli ambientali. Quest'abilità è a sua volta strettamente legata al concetto, di nuovo, di "preparazione temporale", confermando il ruolo dell'elaborazione implicita del tempo "in preparazione" ad un certo comportamento di risposta. È emersa tuttavia anche una parziale specializzazione della porzione dorsale della corteccia premotoria in compiti motori di tempo implicito e, viceversa, della porzione ventrale in compiti di tipo percettivo (J. T. Coull & Nobre, 2008). Ulteriori strutture attivate dai compiti di tempo implicito sono la corteccia parietale inferiore (IPC), il cervelletto, alcune strutture sottocorticali e la corteccia prefrontale (PFC) (J. T. Coull & Nobre, 2008).

Se nel complesso queste sono le strutture cerebrali implicate in modo significativo nell'elaborazione implicita del tempo, l'attivazione di aree cerebrali specifiche sembra dipendere dal coinvolgimento di processi di tempo implicito altrettanto specifici. Ne è un esempio la dissociabilità, precedentemente discussa, tra effetto foreperiod ed effetti sequenziali, che sembra esprimersi anche a livello neurofunzionale (Mioni et al., 2018; Vatakis et al., 2018).

A questo proposito gli studi nel complesso concordano nell'attribuire un ruolo centrale alla *corteccia prefrontale* (PFC) nell'effetto foreperiod (Arbula et al., 2017; Triviño et al., 2010, 2016; Vallesi et al., 2007). Diverse sono infatti le evidenze che

dimostrano come lesioni delle strutture prefrontali portino ad un deficit selettivo a carico di tale effetto, a fronte di una generale preservazione degli effetti sequenziali. Vallesi et al. (2007) ipotizzano, più nello specifico, un coinvolgimento della PFC nell'elaborazione della probabilità condizionale di comparsa dello stimolo target dopo l'intervallo di foreperiod. Nel complesso l'insieme di questi studi avvalorano ulteriormente l'ipotesi secondo cui l'effetto foreperiod richiederebbe un maggior controllo cognitivo e processi volontari, per quanto ad un livello inconsapevole; di qui il coinvolgimento di strutture particolarmente evolute, tra cui, per l'appunto, anche la PFC. Anche da un punto di vista evolutivo – per quanto la percezione implicita del tempo si è dimostrata essere presente molto precocemente – è emerso come bambini di 4-5 anni, nei quali manca una completa maturazione delle strutture prefrontali, non mostrino l'effetto foreperiod tipicamente osservato in paradigmi di foreperiod variabile, a supporto ulteriore del ruolo di tali strutture nel manifestarsi dell'effetto stesso (Vallesi & Shallice, 2007).

Diversamente dall'effetto foreperiod, gli effetti sequenziali non sembrano invece dipendere in modo significativo dalla PFC (Triviño et al., 2010). Si ricorda infatti come diversi autori ipotizzino una generale dipendenza degli effetti sequenziali da processi maggiormente *automatici* (Mioni et al., 2018; Vatakis et al., 2018): di qui l'ipotesi del coinvolgimento di basi neurali distinte da quelle che sottendono l'effetto foreperiod. Nonostante esse debbano essere ulteriormente chiarite, è possibile che siano coinvolte alcune strutture sottocorticali, quali l'ippocampo e il cervelletto, così come alcune strutture corticali, quali le corteccie motoria e premotoria dell'emisfero sinistro e la corteccia parietale (Triviño et al., 2010, 2016; Vallesi et al., 2007).

Si ricorda inoltre come anche l'effetto di orientamento temporale, oltre che l'effetto foreperiod, costituisca un processo di orientamento *volontario* dell'attenzione nel tempo. Tale ipotesi è in linea con i risultati di diversi studi di neuroimmagine, che mostrano una sostanziale dipendenza dell'effetto di orientamento temporale da strutture con elevato grado di controllo cognitivo, quali la PFC, la corteccia premotoria, la corteccia parietale inferiore (IPC) sinistra e la giunzione temporoparietale (J. T. Coull & Nobre, 1998; Triviño et al., 2010, 2016). Più nello specifico J.T. Coull & Nobre (1998) hanno evidenziato l'attivazione di un *network attentivo fronto-parietale*: il ruolo di tale circuito in compiti di orientamento spaziale era già ben noto; l'evidenza di un suo coinvolgimento anche nella dimensione temporale suggerisce l'esistenza di un unico sistema di

allocazione delle risorse attentive, indipendente dalla dimensione – spaziale o temporale – degli stimoli proposti.

Un'ultima linea di ricerca ha infine indagato le basi neurali della percezione del tempo in presenza di sequenze ritmiche di eventi. Nel complesso è emersa l'attivazione dei gangli della base, della *corteccia parietale inferiore* (IPC) sinistra, dell'area motoria supplementare (SMA) e delle cortecce sensoriali (Bolger et al., 2014; Breska & Ivry, 2018, 2021; Dennis et al., 2004). Tra queste, la IPC, in particolar modo, sembra avere un ruolo centrale nell'orientamento dell'attenzione del tempo: è emerso infatti come questa sia attiva sia in compiti di orientamento temporale che in compiti di ritmo, suggerendo un suo possibile ruolo nell'orientamento sia volontario che automatico dell'attenzione nel tempo (Bolger et al., 2014). In accordo con la DAT (Jones & Boltz, 1989), è noto infatti come la presentazione di ritmi particolarmente salienti orienti in modo automatico l'attenzione dell'individuo nel tempo, favorendo così l'elaborazione degli stimoli inseriti all'interno di una struttura temporale ritmica e portando, di conseguenza, ad una migliore prestazione; questo incremento nella performance sarebbe inoltre accompagnato da un incremento, altrettanto significativo, dell'attivazione di specifiche regioni cerebrali, tra cui i gangli della base, la corteccia frontale posteriore (pFC) bilaterale, l'insula e la IPC sinistra (Bolger et al., 2014; Geiser et al., 2012; Marchant & Driver, 2013). I *gangli della base*, nello specifico, sembrerebbero essere deputati alla percezione degli stimoli ritmici, laddove la IPC sinistra sarebbe coinvolta nel successivo orientamento dell'attenzione verso gli stessi (Bolger et al., 2014). Si sottolinea infine come, anche da un punto di vista neurale, il beneficio nella prestazione apportato da sequenze ritmiche di stimoli sia maggiore nella modalità uditiva rispetto a quella visiva, come dimostrato da una maggior attivazione della IPC e dei gangli della base quando il ritmo è veicolato da stimoli uditivi, anziché visivi (Bolger et al., 2014).

Sempre più studi suggeriscono infine un ruolo significativo del *cervelletto* nella percezione del tempo, anche implicita. Diverse sono infatti le evidenze a supporto di una compromissione nell'elaborazione del tempo, in compiti sia motori che percettivi, in pazienti con disfunzioni cerebellari di diversa natura (Breska & Ivry, 2018, 2021). Più nello specifico il cervelletto, oltre che la IPC, sembrerebbe essere coinvolto, in particolare, nei processi di orientamento temporale. È noto come il cervelletto sia generalmente associato all'espletamento della funzione motoria; sempre di più sono

tuttavia gli studi che suggeriscono come esso possa essere coinvolto anche in processi cognitivi più complessi. Breska & Ivry (2021) hanno evidenziato ad esempio come pazienti con lesioni cerebellari mostrino una compromissione nella prestazione in compiti di tempo implicito, non solo motori, ma anche percettivi. Il ruolo del cervelletto non può quindi essere relegato alla sola funzione motoria, bensì deve essere considerato anche in relazione all'orientamento dell'attenzione nel tempo e all'elaborazione percettiva degli stimoli temporali. Gli stessi autori hanno infine evidenziato come lesioni del cervelletto si accompagnino, in compiti temporali, a una compromissione dell'elaborazione percettiva degli stimoli target solo quando segnalati da singoli segnali di avvertimento; diversamente non sembra esserci una compromissione significativa in presenza di sequenze ritmiche di stimoli, per l'elaborazione delle quali è stato suggerito un ruolo chiave dei gangli della base (Bolger et al., 2014; Breska & Ivry, 2018, 2021).

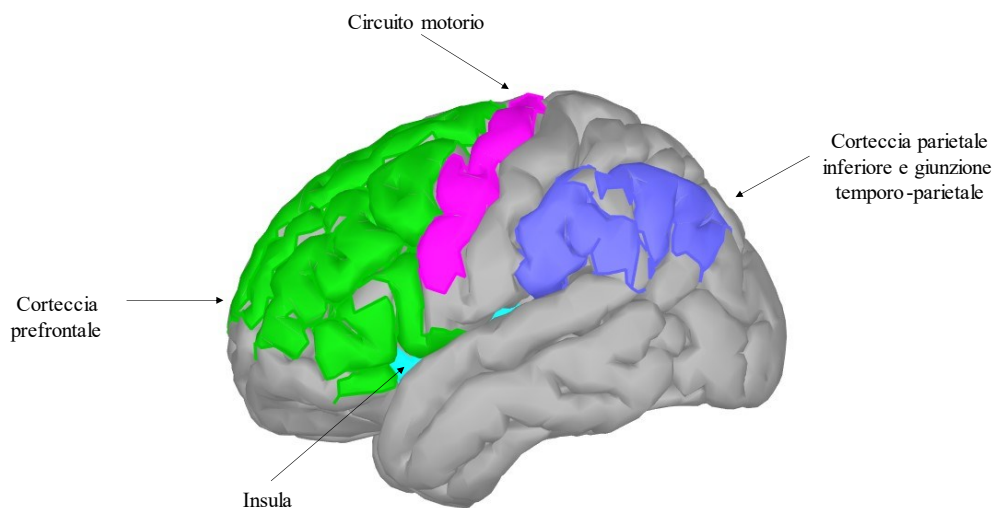


Figura 9. Schematizzazione delle principali aree corticali coinvolte nell'elaborazione implicita del tempo.

In conclusione gli studi fino a qui descritti confermano una dissociazione tra tempo esplicito e implicito anche sul piano neurale. Il tempo implicito, in particolare, correla con l'attivazione di specifiche regioni corticali (Figura 9) e sottocorticali. Nello specifico è emerso il coinvolgimento di un circuito motorio e di un network attentivo fronto-parietale. Specifici processi – quali l'effetto foreperiod e di orientamento temporale – sono stati poi correlati con l'attivazione di aree ad alto grado di controllo

cognitivo, a fronte di processi più automatici – come gli effetti sequenziali e la percezione di sequenze ritmiche – per i quali si ipotizza un coinvolgimento di strutture meno evolute, quali alcune regioni sottocorticali. Infine, sebbene la sua funzione in relazione alla percezione del tempo debba essere ulteriormente chiarito, il cervelletto sembrerebbe ricoprire un ruolo significativo in una vasta gamma di compiti temporali.

Nel complesso, nonostante i limiti e la grande eterogeneità degli studi di neuroimmagine sul tema, comprendere i correlati neurali della percezione implicita del tempo può essere utile al fine di formulare alcune ipotesi in relazione all'andamento del tempo implicito in specifiche popolazioni d'interesse. Nel corso del presente elaborato sarà infatti interessante confrontare i principali correlati neurali del tempo implicito con i cambiamenti cerebrali tipicamente associati all'invecchiamento sano e patologico. L'obiettivo ultimo sarà quello di fornire anche un dato neurofunzionale a supporto di eventuali differenze nella percezione implicita del tempo tra giovani, anziani sani e anziani con deterioramento cognitivo.

CAPITOLO 2 – PERCEZIONE DEL TEMPO IMPLICITA E INVECCHIAMENTO

2.1 Il processo fisiologico di invecchiamento tra perdite e guadagni.

Il progressivo aumento della speranza di vita ha portato, negli ultimi decenni, ad un crescente interesse per il processo di invecchiamento e i cambiamenti – biologici e psicologici – che lo caratterizzano.

Nel panorama dello studio scientifico dell'invecchiamento, è attualmente di fondamentale importanza la prospettiva proposta dalla "psicologia dell'arco di vita", e cioè lo studio dell'arco di vita in termini sia di stabilità che di cambiamento (Baltes, 1987). Questa prospettiva più nello specifico contrasta l'idea di un processo di invecchiamento caratterizzato esclusivamente da un generale e inevitabile declino psicofisico; al contrario, l'invecchiamento viene concepito come un processo multi-dimensionale e multi-direzionale, al pari di quanto avviene per altre fasce d'età. L'adozione di questa prospettiva teorica è supportata infatti da numerose evidenze circa il mantenimento di specifiche abilità cognitive anche in età avanzata e la presenza di fenomeni di plasticità neurale (prevalentemente di tipo compensatorio) anche durante l'invecchiamento. A prescindere quindi da un generale declino cerebrale e cognitivo, si osservano comunque tutta una serie di fenomeni plastici di riorganizzazione, atti al mantenimento di funzioni cognitive specifiche.

In questo senso anche la dissociazione tra percezione esplicita e implicita del tempo può essere considerata all'interno dell'ipotesi più generale di un invecchiamento caratterizzato sia da "perdite" che da "guadagni". È stato infatti già più volte messo in luce un progressivo declino della componente esplicita di percezione del tempo in funzione dell'età, a fronte, viceversa, di un'elaborazione implicita della dimensione temporale generalmente preservata.

Più in generale, comprendere il processo di invecchiamento implica considerare i principali cambiamenti cognitivi che lo caratterizzano. A questo proposito centrale è la teoria formulata da Cattell & Horn relativamente al costrutto di "intelligenza" e alle sue due sub-componenti: "fluida" e "cristallizzata". La prima si riferisce ad una serie di abilità di base legate al processamento dell'informazione: ne sono un esempio le abilità di memoria e di problem solving. L'intelligenza cristallizzata ha invece a che fare con tutta

una serie di capacità e conoscenze acquisite culturalmente e, pertanto, contesto-dipendenti: ci riferiamo ad esempio ad abilità di tipo linguistico (Baltes, 1987).

L'insieme di numerose evidenze sperimentali ha messo in luce un diverso andamento di queste due componenti intellettive nell'arco di vita e, in particolare, nel corso dell'invecchiamento. Nel complesso infatti con l'avanzare dell'età si assiste tipicamente ad un progressivo declino di specifiche abilità di base (o fluide), a fronte di una generale stabilità della componente cristallizzata dell'intelligenza. Di qui la concezione dell'invecchiamento come un processo multi-dimensionale e multi-direzionale (Baltes, 1987).

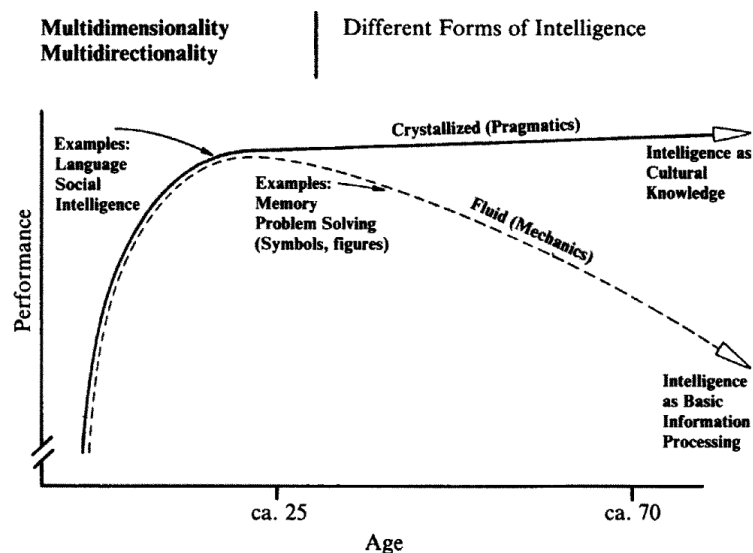


Figura 10. Traiettorie nell'arco di vita dell'intelligenza fluida e cristallizzata secondo il modello di intelligenza proposto da Cattell & Horn. Fonte: Baltes, P. B. (1987). *Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline*. *Developmental Psychology*, 23, 611–626.

Più di recente una meta-analisi di Hedden & Gabrieli (2004) ha approfondito ulteriormente l'andamento di specifiche funzioni cognitive nell'invecchiamento, evidenziando, coerentemente con quanto proposto da Baltes (1987), un declino a carico soprattutto dello stadio di codifica di nuove informazioni, della memoria di lavoro, delle funzioni esecutive e della velocità di elaborazione dell'informazione. Diversamente altre abilità appaiono maggiormente preservate e stabili in età avanzata: si tratta principalmente della memoria a breve termine, della memoria autobiografica e della conoscenza semantica.

La letteratura sulla percezione esplicita del tempo ha più volte messo in luce una possibile dipendenza di quest'ultima proprio dai processi di inibizione, memoria di lavoro e soprattutto velocità di processamento dell'informazione (Mioni, Cardullo, et al., 2021). È quindi possibile che il declino osservato, nell'invecchiamento, nella prestazione a compiti di tempo esplicito sia almeno in parte dovuto ad una compromissione cognitiva più generalizzata e strettamente legata al costrutto di "intelligenza fluida".

Diversamente il tempo implicito sembrerebbe essere meno influenzato dal funzionamento cognitivo generale e, in particolare, da quelle funzioni cognitive fluide che maggiormente tendono al declino con l'avanzare dell'età (Capizzi et al., 2022; Mioni, Cardullo, et al., 2021). Questa relativa indipendenza della percezione implicita del tempo avvalorava inoltre l'ipotesi di una sua generale stabilità nell'arco di vita e nell'invecchiamento.

Nonostante la sua relativa indipendenza dal funzionamento cognitivo generale, è stato già argomentato come il tempo implicito sia strettamente legato ai processi attentivi, sia volontari che automatici. Risulta quindi rilevante, ai fini della presente trattazione, comprendere più nello specifico eventuali cambiamenti a carico del sistema attentivo durante l'invecchiamento.

In generale l'invecchiamento sembra essere caratterizzato da un generico rallentamento nei processi di orientamento dell'attenzione, sia volontaria che automatica (Correa-Jaraba et al., 2016; Lincourt et al., 1997). La componente attentiva volontaria-endogena è soggetta tuttavia a un declino significativamente maggiore (Correa-Jaraba et al., 2016; Peretti et al., 2008), coerentemente con l'ipotesi di una dissociazione automatico-volontaria nell'invecchiamento: i processi cognitivi automatici rimangono infatti generalmente più stabili, a fronte viceversa di una compromissione più marcata di quelle funzioni a più alto grado di controllo cognitivo. Sebbene gli studi fino a qui descritti abbiano indagato il processo di orientamento attentivo nello spazio, è possibile estendere tali risultati anche alla percezione del tempo: è stato infatti già argomentato come entrambe le dimensioni, spazio e tempo, condividano uno stesso network attentivo fronto-parietale (J. T. Coull & Nobre, 1998).

Le evidenze in merito ai cambiamenti cognitivi in età avanzata sono state supportate e chiarite, più di recente, anche da un consistente numero di studi che ha indagato i

cambiamenti cerebrali che accompagnano l'invecchiamento, a conferma di una stretta relazione tra struttura, funzione e comportamento nell'arco di vita.

Nel complesso, sebbene emerga una significativa diminuzione della sostanza grigia e del numero di sinapsi nell'invecchiamento, tali perdite sembrano non essere uniformi, bensì maggiormente localizzate in regioni cerebrali specifiche. Le regioni più compromesse dal processo di invecchiamento risultano infatti essere la corteccia prefrontale (PFC) laterale e le strutture medialie del lobo temporale (MTL); regioni diverse al contrario, quale la corteccia occipitale, non sembrano essere particolarmente inficiate da perdite di tipo strutturale (Hedden & Gabrieli, 2004).

Più nello specifico è emerso un significativo declino a carico del circuito fronto-striatale, comprendente connessioni – prevalentemente di tipo dopaminergico – tra PFC e corpo striato. La trasmissione dopaminergica, in particolare, sembra essere coinvolta in un numero consistente di funzioni cognitive, tra cui la velocità di processamento e la memoria di lavoro. Il declino osservato a carico del circuito dopaminergico fronto-striatale potrebbe quindi in parte spiegare i deficit legati all'invecchiamento nel funzionamento esecutivo generale e in funzioni specifiche, tra cui la memoria di lavoro, la velocità di processamento dell'informazione e la capacità di inibizione (Hedden & Gabrieli, 2004).

Per quanto i risultati fino a qui discussi abbiano messo in luce un importante declino strutturale nell'invecchiamento, ulteriori studi hanno tuttavia dimostrato come quest'ultimo si accompagni, sul piano funzionale, anche a specifici meccanismi di compensazione (Cabeza, 2002; Davis et al., 2008; Hedden & Gabrieli, 2004). Ecco che i cambiamenti cognitivi che lo caratterizzano possono essere compresi appieno solo alla luce di meccanismi più complessi. Due sono i principali modelli, qui di seguito descritti, che hanno contribuito a spiegare i principali meccanismi di compensazione che caratterizzano l'invecchiamento.

2.1.1 Invecchiamento e processi di compensazione: il modello PASA.

Il processo di compensazione riguarda, in generale, il reclutamento di risorse neurali aggiuntive laddove il declino – cerebrale e cognitivo – che l'invecchiamento comporta non consente di mantenere un adeguato livello di performance, soprattutto in compiti cognitivi ad elevato grado di difficoltà (Cabeza et al., 2018). L'assunto di base è cioè quello secondo cui l'invecchiamento, per quanto caratterizzato da un processo di

declino strutturale a carico di specifiche regioni cerebrali, coinvolga un certo numero di meccanismi di compensazione funzionale, in grado di mitigare le perdite e garantire di conseguenza il mantenimento di un livello di funzionamento cognitivo e prestazionale adeguati.

Un primo modello che ha ben descritto uno di tali processi di compensazione è il cosiddetto “*Posterior-Anterior Shift in Aging*” (PASA, Davis et al., 2008). Diversi studi di neuroimmagine hanno infatti messo in luce, a sostegno di tale modello, una ridotta attivazione delle regioni occipitali durante l’invecchiamento, la quale verrebbe tuttavia compensata attraverso il reclutamento di alcune regioni prefrontali. Il declino di specifiche funzioni cognitive durante l’invecchiamento, quali ad esempio percezione visiva, attenzione e riconoscimento, può dunque essere in parte attribuito a una diminuita attività di regioni cerebrali posteriori (Davis et al., 2008); il reclutamento di strutture prefrontali a più alto grado di controllo cognitivo, d’altra parte, avrebbe una funzione di tipo compensativo. Se infatti nei giovani alcuni compiti implicano l’attivazione di processi cognitivi relativamente automatici (regioni posteriori), gli stessi richiedono in età avanzata l’affiancamento di processi cognitivi più controllati (regioni anteriori).

La ridotta attività in zona occipitale e, più nello specifico, nella corteccia visiva contribuisce inoltre a spiegare perché l’invecchiamento è caratterizzato da una significativa compromissione modalità-specifica nell’elaborazione visiva di stimoli esterni. Diversamente, la modalità uditiva sembra essere maggiormente preservata nell’invecchiamento, in contrasto con l’idea di un declino generalizzato a carico dell’intero sistema sensoriale (Čeponiene et al., 2008).

Un’ulteriore spiegazione proposta riguarda il diverso grado di dipendenza dei sistemi sensoriali, rispettivamente visivo e uditivo, dal sistema attentivo. Se infatti i meccanismi attentivi sono più frequentemente implicati nell’elaborazione visiva degli stimoli, il sistema uditivo richiede generalmente un numero minore di risorse attentive. Ecco che il generale declino osservato nell’invecchiamento a carico del sistema attentivo potrebbe contribuire a una compromissione più marcata della percezione visiva, anziché uditiva (Čeponiene et al., 2008).

Complessivamente è possibile concludere come, a fronte dei molteplici meccanismi di compensazione che caratterizzano l’invecchiamento, il modello PASA in particolare attribuisca un ruolo compensatorio centrale alle regioni prefrontali che, esercitando un

controllo cognitivo maggiore, permettono il mantenimento di un adeguato livello prestazionale, anche a fronte di importanti perdite strutturali.

2.1.2 Invecchiamento e processi di compensazione: il modello HAROLD.

Un secondo modello proposto è il cosiddetto “*Hemispheric Asymmetry Reduction in OLDER adults*” (HAROLD, Cabeza, 2002). Esso propone come con l’invecchiamento si assista a una progressiva riduzione della lateralizzazione emisferica di alcune funzioni cognitive. Questo meccanismo di compensazione è ben esemplificato da alcuni studi di neuroimmagine per compiti di memoria di lavoro (Cabeza, 2002). Essi mostrano infatti come una prestazione ottimale nei giovani correli con un’attivazione selettiva della PFC destra; negli anziani viceversa le prestazioni migliori si associano a una minor attivazione a destra, compensata però da un’attivazione maggiore della PFC sinistra. Questo meccanismo compensatorio è stato osservato anche per funzioni cognitive diverse, tra cui il controllo inibitorio, alcuni processi attentivi e specifici processi mnesici, tra cui, in particolare, gli stadi di codifica e recupero dell’informazione (Cabeza, 2002).

Nel complesso dunque il modello suggerisce una ridotta attivazione funzionale di specifiche regioni cerebrali età-dipendente. L’invecchiamento, in linea con il modello, sarebbe tuttavia caratterizzato anche da specifici meccanismi compensatori, tra cui il reclutamento di regioni omologhe controlaterali a quelle con ridotta attivazione. In altri termini, ciò che si osserva nell’invecchiamento è una ridotta lateralizzazione emisferica per processi cognitivi specifici, laddove una ridotta attività in una specifica regione cerebrale viene subito affiancata a un aumento di attività a carico della regione omologa controlaterale.

Complessivamente, le principali “perdite” che l’invecchiamento comporta sono riassumibili come segue:

- Declino sul piano sensoriale, con una compromissione più marcata a carico del sistema visivo,
- Rallentamento nei processi di orientamento dell’attenzione, soprattutto volontaria, e ridotta quantità di risorse attentive disponibili,
- Declino di abilità “fluide”, quali ad esempio la velocità di processamento dell’informazione, la capacità di inibizione e la memoria di lavoro.

Diversi sono i fattori cognitivi che si ipotizza essere responsabili del declino età-dipendente della percezione esplicita del tempo. La ridotta velocità di processamento dell'informazione sembra tuttavia spiegare buona parte dei cambiamenti osservati nell'invecchiamento in compiti di tempo esplicito (Mioni, Cardullo, et al., 2021).

Relativamente invece alla percezione implicita del tempo, ulteriori studi sono necessari al fine di chiarire il rapporto tra questa e il funzionamento cognitivo generale. Sarà comunque interessante, più avanti nella trattazione, meglio definire la relazione tra tempo implicito e processi cognitivi specifici, alla luce dei numerosi cambiamenti e meccanismi di compensazione che l'invecchiamento comporta.

2.2 Invecchiamento patologico: demenze e deterioramento cognitivo.

Il progressivo aumento della speranza di vita, non solo ha portato a un crescente interesse per lo studio dell'invecchiamento in generale, ma ha anche evidenziato la necessità di occuparsi dei più comuni quadri neuropatologici associati a questa fase di vita. L'invecchiamento "patologico", nello specifico, può essere definito tale nella misura in cui si accompagna a un declino cerebrale e cognitivo significativamente maggiori rispetto a quanto generalmente osservato in soggetti con invecchiamento sano. Esso, più nello specifico, comprende tutta una serie di processi neuropatologici di natura biochimica, che a loro volta portano a diversi tipi e gradi di compromissione sul piano neuropsicologico e cognitivo.

Da un punto di vista prettamente diagnostico, il DSM-5 (American Psychiatric Association (APA), 2014) ha recentemente delineato i criteri per la diagnosi di "Disturbo Neurocognitivo Maggiore" (etichetta diagnostica che corrisponde al termine, più comunemente usato, di "demenza"):

- A. Evidenza di un significativo declino cognitivo in uno o più domini cognitivi basato su asserzioni del soggetto, testimoni, medico curante o su deterioramento della funzione cognitiva preferibilmente documentato da test neuropsicologici.
- B. I deficit cognitivi interferiscono con l'indipendenza del soggetto nelle attività del vivere quotidiano.
- C. I deficit cognitivi non si manifestano nel contesto di un delirium.
- D. I disturbi cognitivi non sono meglio spiegati da un altro disturbo mentale.

Se la diagnosi clinica di un quadro dementigeno prevede fundamentalmente la verifica di tali criteri, più complessa è, viceversa, la valutazione eziopatogenica di ciascun

quadro clinico e, di conseguenza, il processo di diagnosi differenziale tra diversi tipi di demenza. Le ragioni di tali difficoltà sono da ricondursi a un'etiologia multifattoriale, alla sovrapposizione di sintomi comuni a quadri dementigeni diversi e alla presenza di molteplici patologie neurodegenerative (Raz et al., 2016). Nel complesso è comunque possibile delineare quattro tipologie fondamentali di demenza, a seconda dei diversi processi neuropatogenici a cui si accompagnano (Raz et al., 2016).

Demenza di Alzheimer (AD) (1). Si tratta della più comune forma di demenza (corrisponde al 62% di tutti i casi di demenza) ed è caratterizzata dal progressivo accumulo extracellulare di placche beta-amiloidi e dall'accumulo intracellulare di grovigli neurofibrillari. Le conseguenze di tali meccanismi neuropatologici si riscontrano principalmente in termini di degenerazione neuronale, neuroinfiammazione e declino cognitivo, con particolare riferimento ai deficit di natura mnesica, che generalmente rappresentano i più importanti sintomi di esordio.

Demenza vascolare (VaD) (2). In generale essa si caratterizza per tutta una serie di disordini neurovascolari, a loro volta causati dagli effetti vasculo- e neuro-tossici legati al progressivo e prolungato accumulo di placche beta-amiloidi. A tal proposito infatti si osserva una frequente comorbidità tra AD e VaD (“demenza mista”). Il malfunzionamento a livello neurovascolare causa infine uno scarso apporto di ossigeno al cervello, portando in ultima battuta a una significativa compromissione cognitiva.

Demenza a corpi di Lewy (LBD) (3). Essa è caratterizzata da un anormale accumulo intracellulare della proteina sinaptica α -sinucleina, causando un progressivo processo di atrofia cerebrale e compromissione cognitiva.

Demenza frontotemporale (FTD) (4). Comporta molteplici processi neuropatologici che, nel complesso, causano un'atrofia cerebrale limitata, in particolare, ai lobi frontali e temporali (diversamente dalla AD che si accompagna a una neurodegenerazione maggiormente diffusa). Il coinvolgimento, nello specifico, dei lobi frontali e temporali permette di caratterizzare più precisamente la FTD sulla base della sintomatologia prodotta, strettamente legata al funzionamento di tali regioni cerebrali: citiamo a titolo di esempio i progressivi deficit afasici, le alterazioni del comportamento e della personalità e una grave compromissione mnesica.

Il DSM-5 (American Psychiatric Association (APA), 2014) definisce inoltre i criteri per la diagnosi di “Decadimento Neurocognitivo Lieve”, più comunemente conosciuto

all'interno della letteratura scientifica come *Mild Cognitive Impairment (MCI)*. Stando alla definizione del DSM-5, è possibile parlare di “Decadimento Neurocognitivo Lieve” in presenza di un declino funzionale, rispetto allo stato premorbo, in almeno uno dei seguenti sei domini cognitivi: apprendimento e memoria, funzionamento sociale, linguaggio, funzione visuo-spaziale, attenzione e funzioni esecutive (1). Tale deficit, inoltre, non deve essere di entità tale da interferire con le attività quotidiane del soggetto (2) e non deve verificarsi in presenza di altre condizioni, quali delirium o disordini psicologici (3).

La sostanziale differenza, dunque, che distingue i quadri di demenza vera e propria da quelli di MCI è il diverso grado di interferenza del deficit cognitivo sulle attività di vita quotidiana: mentre infatti una demenza può essere definita tale proprio in relazione alla grave compromissione dell'autonomia del soggetto, un quadro di MCI si caratterizza per un deficit cognitivo che, tuttavia, non influisce significativamente sul grado di indipendenza dell'individuo nella vita quotidiana.

Da un punto di vista prognostico, una condizione di MCI può inoltre stabilizzarsi, arrestarsi spontaneamente o, al contrario, progredire in un quadro specifico di demenza. Il tipo di demenza in cui un iniziale quadro di MCI può progredire dipende tipicamente dalla tipologia di sintomi manifestati. Generalmente infatti si distinguono due principali sottotipi di MCI: una forma amnestica, in cui il predominante deficit di memoria è associato a un più alto rischio di sviluppare una demenza di tipo Alzheimer, e una forma, viceversa, non amnestica, caratterizzata da deficit cognitivi non di tipo mnesico e, di conseguenza, associata al rischio di sviluppo di forme di demenza meno comuni.

Per quanto invecchiamento sano e patologico siano due processi nettamente distinti, anche per quest'ultimo è possibile inserirsi all'interno della cornice teorica della “psicologia dell'arco di vita” (Baltes, 1987). In questo senso, mentre l'invecchiamento sano si caratterizza per una sorta di ‘equilibrio’ tra perdite e guadagni (per quanto con l'avanzare dell'età si assista a un incremento sempre più significativo nel numero di perdite (Figura 11)), nell'invecchiamento patologico al contrario – a causa dei molteplici processi neuropatologici in atto – le perdite tipicamente superano i guadagni.

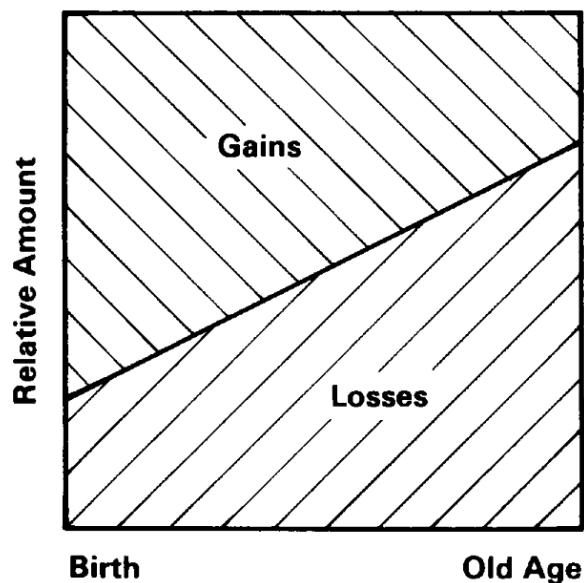


Figura 11. Andamento teorico del rapporto tra perdite e guadagni nell'arco di vita. Fonte: Baltes, P. B. (1987). *Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline*. *Developmental Psychology*, 23, 611–626.

Nel complesso quindi invecchiamento sano e patologico, per quanto entrambi possano essere pensati come parte di uno stesso continuum, comportano gradi significativamente diversi di declino cerebrale e cognitivo. Di seguito viene proposto un modello che meglio aiuta a comprendere il rapporto tra cervello e cognizione nell'invecchiamento, consentendo in ultima battuta di meglio differenziare ulteriormente l'invecchiamento sano da quello patologico.

2.2.1 L'applicazione del modello STAC allo studio dell'invecchiamento patologico.

Il modello STAC (*"Scaffolding Theory of Aging and Cognition"*) (Park & Reuter-Lorenz, 2009) è stato inizialmente costruito allo scopo di fornire una panoramica il più possibile completa riguardo a come i cambiamenti età-dipendenti nella struttura e nella funzione cerebrali influiscano sulla cognizione (Park & Farrell, 2016).

Il modello considera innanzitutto il processo di invecchiamento come un insieme di cambiamenti ascrivibili sia alla struttura che alla funzione del cervello. Alcuni cambiamenti strutturali riguardano ad esempio ridotti livelli di dopamina, la diminuzione del volume cerebrale, lesioni della sostanza bianca e un progressivo assottigliamento dello spessore corticale. Tali cambiamenti si accompagnano inoltre a specifiche modificazioni della funzione cerebrale: tra queste si riportano a titolo d'esempio una

ridotta attività ipocampale e una ridotta specializzazione neurale (Cabeza, 2002; Park & Farrell, 2016). I cambiamenti cerebrali, nel complesso, agiscono a loro volta sulla cognizione, determinando sia il livello cognitivo sia il grado di cambiamento cognitivo individuali (Park & Farrell, 2016).

Il modello chiarisce poi il ruolo che le variabili genetiche e le esperienze di vita hanno sul processo di invecchiamento, agendo come fattori di protezione o, al contrario, di rischio in relazione al mantenimento di un livello di funzionamento cerebrale e cognitivo più o meno adeguato (Park & Farrell, 2016). Tali fattori contribuiscono cioè alla costruzione di quella che gli autori definiscono ‘un’impalcatura compensatoria’; il concetto, più nello specifico, si riferisce al ruolo che precisi meccanismi compensatori, precedentemente discussi, hanno nel mantenimento di un adeguato funzionamento cognitivo, a fronte del significativo declino cerebrale che, inevitabilmente, l’invecchiamento comporta in qualche misura (Cabeza, 2002; Davis et al., 2008; Park & Farrell, 2016).

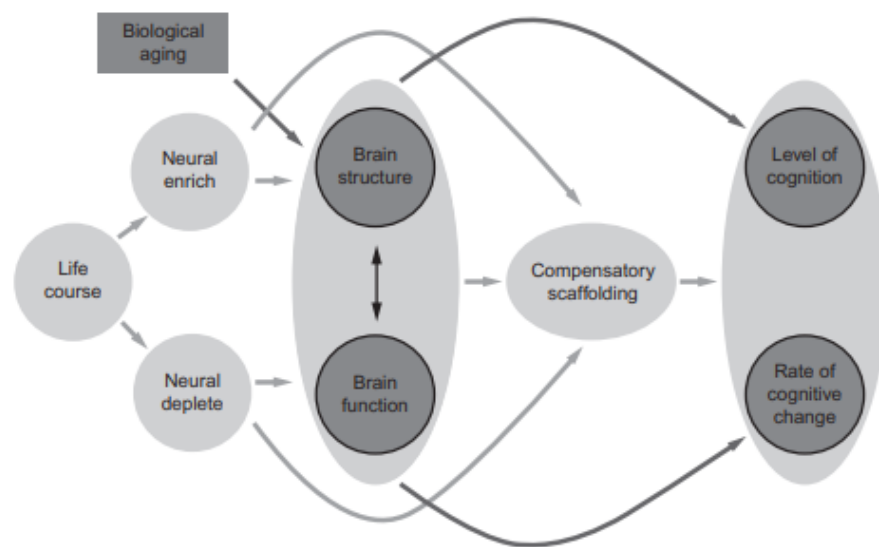


Figura 12. Rappresentazione schematica della *Scaffolding Theory of Aging and Cognition* (STAC). Fonte: Park, D. C., & Farrell, M. E. (2016). *Chapter 5 - The Aging Mind in Transition: Amyloid Deposition and Progression toward Alzheimer’s Disease*. In K. W. Schaie & S. L. Willis (A c. Di), *Handbook of the Psychology of Aging* (Eighth Edition) (pp. 87–103).

L'utilità del modello risiede nel fatto di poter essere applicato all'invecchiamento sia sano che patologico. Da un lato infatti l'invecchiamento sano si caratterizza, secondo

questa prospettiva, per un declino cerebrale di modesta entità e adeguati meccanismi compensatori. L'invecchiamento patologico, al contrario, comporta una compromissione della struttura cerebrale significativamente più accentuata, tale per cui eventuali processi di compensazione non sono da soli sufficienti a garantire un adeguato livello di funzionamento cognitivo e comportamentale (Park & Farrell, 2016).

Indagando le basi neurali dell'invecchiamento patologico, ciascuna forma di demenza si caratterizza per una progressione della malattia nel tempo specifica e a sé stante. Ciascun tipo di demenza presenta cioè un diverso coinvolgimento di specifiche regioni cerebrali nel processo neurodegenerativo, diversi sintomi e deficit cognitivi di esordio e una diversa progressione nel tempo del deterioramento cerebrale e cognitivo. Non è quindi possibile tracciare conclusioni certe e generalizzabili trasversalmente ai diversi tipi di demenza, essendo ciascuna caratterizzata da un diverso andamento neuropatologico sia spazialmente che temporalmente.

La letteratura scientifica generalmente concentra i propri lavori sullo studio della più comune forma di demenza, quella di tipo Alzheimer. Ne consegue come le più importanti evidenze scientifiche, in relazione ai principali network e regioni cerebrali soggetti al processo di deterioramento, derivino da studi sulla popolazione anziana affetta da questa particolare forma di demenza. Ciò nonostante, alcuni studi dimostrano come la compromissione di circuiti e regioni cerebrali specifici non riguardi solo la demenza di Alzheimer, ma come sia generalizzabile anche a forme di demenza diverse (Hedden & Gabrieli, 2004; Watanabe et al., 2021). Gli studi sopra citati evidenziano infatti come l'invecchiamento patologico, in generale, mostri una compromissione significativa soprattutto a carico delle seguenti strutture:

- Corteccia entorinale
- Ippocampo
- Cortecce associative (integrazione multisensoriale)
- Default Mode Network

La corteccia entorinale e l'ippocampo, in particolare, hanno un ruolo centrale nei processi di memoria dichiarativa-esplicita. Sebbene tali aree mostrino una ridotta attivazione funzionale anche nell'invecchiamento sano, l'invecchiamento patologico si caratterizza, non solo per una ipoattivazione funzionale, ma anche per importanti perdite strutturali a carico di tali regioni (Hedden & Gabrieli, 2004). Ciò spiega perché i quadri di demenza

presentano così di frequente importanti deficit mnesici, soprattutto nella componente esplicita della memoria. Queste considerazioni inoltre sono utili anche al fine di chiarire ulteriormente perché l'invecchiamento, in particolar modo patologico, si caratterizzi per un declino significativo nella percezione esplicita del tempo, suggerendo, di nuovo, un possibile ruolo della funzione mnesica sull'elaborazione della dimensione temporale (Capizzi et al., 2022; Mioni, Román-Caballero, et al., 2021).

Oltre ai deficit mnesici, studi diversi concordano nell'attribuire all'invecchiamento patologico una compromissione significativa dell'intero sistema esecutivo (Stopford et al., 2012). Ciò nonostante è anche emerso come ciascuna forma dementigena presenti caratteristiche peculiari. Alcuni autori hanno ad esempio evidenziato come, mentre nella FTD il deterioramento dei lobi frontali e temporali porta a un declino soprattutto a carico delle funzioni attentive, la AD si caratterizzi per una compromissione di zone più posteriori (temporo-parietali), con un conseguente declino maggiormente a carico della memoria di lavoro (Stopford et al., 2012). O ancora, se nel complesso l'invecchiamento patologico porta a una disfunzionalità diffusa dell'intero sistema attentivo, questa sembra essere più marcata nella VaD e nella LBD, rispetto alla AD (Ballard et al., 2001; McGuinness et al., 2010).

Ai fini della presente trattazione è infine opportuno indagare l'invecchiamento patologico in relazione alle componenti attentive volontaria e automatica, essendo queste largamente implicate nella percezione del tempo e, nello specifico, nel tempo implicito. A tal proposito gli studi considerati confermano, anche per l'invecchiamento patologico, quanto evidenziato in relazione all'invecchiamento sano: un generale rallentamento nei RT e una ridotta accuratezza in compiti di tipo attentivo (Wright et al., 1997). È inoltre emerso come, mentre generalmente l'invecchiamento sano si caratterizza per una compromissione selettiva della componente endogeno-volontaria dell'attenzione, l'invecchiamento patologico si accompagna a un declino più generalizzato del sistema attentivo, che comprende anche la componente esogeno-automatica (Peretti et al., 2008).

Nel complesso quindi è possibile concludere come invecchiamento sano e patologico si dispongano lungo un continuum, essendo caratterizzati da gradienti diversi di declino cerebrale e cognitivo. L'invecchiamento patologico si caratterizza inoltre per significative perdite strutturali e processi neuropatologici e neurodegenerativi specifici. Le regioni cerebrali soggette a neurodegenerazione dipendono, in larga parte, dalla tipologia di

demenza in atto. Ne deriva come anche il quadro cognitivo prodotto dipenda dalla diagnosi specifica. Complessivamente, tuttavia, si evidenziano alcuni deficit cognitivi trasversali a tutte le forme di demenza: si ricordano in particolare la compromissione nella memoria esplicito-dichiarativa e un declino generalizzato a carico del sistema esecutivo e attentivo. Tali cambiamenti cognitivi verranno meglio discussi in seguito in relazione alla loro possibile influenza sulla percezione del tempo, in particolar modo implicita, nel corso dell'invecchiamento sano e patologico.

2.3 Percezione del tempo implicita nell'invecchiamento sano e patologico.

Numerose evidenze sperimentali, già discusse in precedenza, hanno messo in luce, non solo come tempo esplicito e implicito siano dissociabili sul piano sia cognitivo che neurofunzionale (Mioni et al., 2018; Soltanlou et al., 2020; Triviño et al., 2011), ma anche come l'invecchiamento sia caratterizzato da una generale preservazione della componente implicita di percezione del tempo, a fronte delle perdite che, viceversa, caratterizzano questa fase della vita a livello esplicito-consapevole (Capizzi et al., 2022; Droit-Volet et al., 2019; Droit-Volet & Coull, 2016; Hiroyasu & Yotsumoto, 2020). A questo punto si intende quindi indagare più nel dettaglio la percezione implicita del tempo nell'invecchiamento sano e patologico, con l'obiettivo ultimo di definire il ruolo che, potenzialmente, età e livello di funzionamento cognitivo hanno su di essa.

Se infatti nel complesso è già stata appurata una sostanziale stabilità della percezione implicita del tempo nell'arco di vita e nell'invecchiamento, è tuttavia importante a questo punto considerare più nel dettaglio la prestazione di anziani sani e con deterioramento cognitivo in compiti specifici di tempo implicito: compito di foreperiod, compito di orientamento temporale e compito di ritmo regolare e irregolare.

Per quanto riguarda la prestazione ai compiti di foreperiod, c'è un generale accordo circa un generale rallentamento nei RT in funzione dell'età (Capizzi et al., 2022; Vallesi et al., 2009). In accordo tuttavia con la letteratura scientifica, è importante precisare come indice di un'adeguata elaborazione implicita del tempo non sia tanto la velocità di risposta in sé, quanto piuttosto il manifestarsi dell'effetto foreperiod (Capizzi et al., 2022). A questo proposito tuttavia i risultati ottenuti sono tra loro piuttosto contrastanti.

Da un lato infatti alcuni studi mostrano come l'invecchiamento si caratterizzi per un ridotto effetto foreperiod, un risultato supportato anche da alcune evidenze neurofunzionali (Loveless & Sanford, 1974; Vallesi et al., 2009).

Loveless & Sanford (1974), ad esempio, hanno affiancato a un compito di foreperiod la misurazione di un potenziale evento-relato (ERP), la cosiddetta Contingent Negative Variation (CNV). Si tratta di un'onda negativa prodotta nell'intervallo (foreperiod) tra la presentazione di un segnale di avvertimento (cue) e uno stimolo imperativo successivo a cui il soggetto deve rispondere (target). Quest'onda si compone a sua volta di due componenti fondamentali: una prima componente che riflette il processo di orientamento dell'attenzione verso il segnale di avvertimento, e una seconda componente (risposta anticipatoria) che riflette i processi successivi di attesa e preparazione all'imminente comparsa dello stimolo imperativo. I risultati mostrano una ridotta risposta anticipatoria nel gruppo di anziani per intervalli di foreperiod lunghi (Loveless & Sanford, 1974). Gli stessi risultati sono pertanto in contrasto con quanto ci si aspetterebbe in presenza di un effetto foreperiod intatto, tale per cui minori RT per intervalli lunghi richiederebbero ipoteticamente un'attivazione neurale significativa, e cioè una CNV più ampia.

Anche Vallesi et al. (2009), coerentemente con lo studio precedente, hanno confermato un ridotto effetto foreperiod nell'invecchiamento, supportato anche dall'osservazione di una ridotta attività della PFC dorsolaterale destra (area tipicamente implicata nell'elaborazione implicita del tempo). Lo stesso studio ha poi mostrato come, diversamente dall'effetto foreperiod, gli effetti sequenziali sembrano essere generalmente preservati in età avanzata, a conferma di una loro maggior indipendenza e automatismo (Vallesi et al., 2009).

Più di recente Capizzi et al. (2022), viceversa, hanno ottenuto risultati in linea con l'ipotesi di una generale preservazione dell'effetto foreperiod nell'invecchiamento. Allo studio ha preso parte un gruppo di anziani, rispettivamente sani e con deterioramento cognitivo (la suddivisione nei due gruppi è stata fatta sulla base del punteggio ottenuto al Mini Mental State Examination (MMSE), corretto per età e scolarità). Tra gli altri risultati, la prestazione al compito di foreperiod, in particolare, ha mostrato un effetto significativo sui RT sia dell'età sia del punteggio al MMSE (anche se in misura minore). Più nello specifico è stato osservato come l'effetto foreperiod aumenti proporzionalmente all'età: una possibile interpretazione suggerisce come gli anziani – a fronte delle perdite a carico della componente esplicita di elaborazione del tempo – facciano maggior affidamento alla dimensione implicita, mostrando, di conseguenza, un aumentato effetto foreperiod. Quest'ultimo appare tuttavia influenzato, in parte, anche dal livello cognitivo

generale: l'effetto foreperiod sembra infatti ridursi al diminuire dei punteggi ottenuti al MMSE (Capizzi et al., 2022). Questo dato suggerisce quindi, in ultima battuta, anche possibili differenze tra invecchiamento sano e patologico nella percezione implicita del tempo (per quanto generalmente indipendente da funzioni cognitive di ordine superiore).

Analogamente all'effetto foreperiod, anche gli studi in merito all'orientamento temporale presentano risultati contrastanti, sebbene buona parte della letteratura scientifica supporti l'ipotesi di un declino età-dipendente nella capacità di orientare l'attenzione nel tempo (Bollinger et al., 2011; Hämmerer et al., 2010; Pincham et al., 2012; Zanto et al., 2011; Zanto & Gazzaley, 2014).

Zanto et al. (2011), ad esempio, hanno mostrato un sostanziale declino nella prestazione a un compito di orientamento temporale in età avanzata: indici di ciò sono sia un generale rallentamento nei RT sia alcune evidenze neurofunzionali, tra cui una ridotta attività alpha e una ridotta CNV. Gli autori, a spiegazione di ciò, propongono come l'invecchiamento possa caratterizzarsi per un sistema di controllo top-down disfunzionale, a sua volta potenzialmente legato a una ridotta funzionalità della PFC e del network attentivo fronto-parietale (Pincham et al., 2012; Zanto et al., 2011; Zanto & Gazzaley, 2014). Diversi sono inoltre i deficit che si ipotizza essere alla base del declino osservato; è possibile infatti che la compromissione nella capacità di orientamento temporale sia dovuta a un deficit sia nell'elaborazione sensoriale di base, in particolare visiva, sia in processi cognitivi di ordine superiore. Tra questi ricordiamo l'aspettativa in relazione alla comparsa dello stimolo target, la capacità di "goal maintenance", la capacità di estrazione di significato degli stimoli cue e di ri-orientamento dell'attenzione dallo stimolo cue al target (Pincham et al., 2012). Sebbene ancora non sia chiaro quale tra questi processi sia maggiormente coinvolto, diversi autori, in conclusione, sostengono l'ipotesi, in generale, di una significativa compromissione della capacità di orientamento temporale con l'età: le persone anziane sembrano cioè, diversamente dai giovani, non utilizzare le informazioni veicolate dagli stimoli cue, al fine di ottimizzare il proprio comportamento di risposta.

Ciò nonostante, più di recente Chauvin et al. (2016) hanno ottenuto dei risultati in contrasto con gli studi precedenti, mostrando, al contrario, una sostanziale stabilità nei processi di orientamento temporale anche in età avanzata. Gli autori hanno infatti mostrato come anche gli anziani – al pari dei giovani – utilizzino le informazioni veicolate

dai cue per predire la comparsa del target successivo. Ne deriva come, analogamente al gruppo dei giovani, gli anziani beneficiano, nel comportamento di risposta, dalle condizioni valide/predittive e come, viceversa, la prestazione risente negativamente delle condizioni invalide/non predittive. Più nello specifico, il gruppo di anziani ha mostrato un effetto cue significativo (un maggior utilizzo delle informazioni veicolate dai cue) soprattutto per intervalli di foreperiod brevi. I risultati inoltre hanno messo in luce un significativo effetto foreperiod in presenza di cue invalidi, veicolanti l'informazione "intervallo breve" (Chauvin et al., 2016): si osserva pertanto come anche il gruppo di anziani sia in grado di riorientare il proprio focus attentivo in funzione di un intervallo lungo, a seguito della non comparsa, come predetto, del target dopo un intervallo breve.

Lo studio, per quanto evidenzia una sostanziale stabilità nei processi di orientamento temporale nell'invecchiamento, mostra comunque come questo sia nel complesso caratterizzato da una ridotta accuratezza e RT più lunghi. Gli autori propongono tuttavia come quest'ultimo aspetto in particolare possa essere dovuto, non tanto a un rallentamento nel processamento dell'informazione, quanto piuttosto a un atteggiamento di maggior "cautela" nel comportamento di risposta in età avanzata (Chauvin et al., 2016).

Anche per i compiti di orientamento temporale, in conclusione, la letteratura propone risultati eterogenei. È possibile inoltre che tale eterogeneità sia in parte dovuta anche ad alcune differenze metodologiche tra studi diversi: lo studio di Chauvin et al. (2016), ad esempio, prevedeva, diversamente da studi precedenti, solo cue di tipo uditivo; è possibile quindi che la miglior prestazione osservata negli anziani sia almeno in parte legata alla superiorità della modalità uditiva su quella visiva, rispetto al grado di ritmicità e regolarità offerto che in qualche modo agevola la prestazione (Chauvin et al., 2016). Nel complesso saranno comunque necessari ulteriori studi al fine di tracciare conclusioni più certe.

Ulteriori studi sono necessari anche al fine di chiarire se e in quale misura invecchiamento sano e patologico si distinguono nella capacità di orientamento temporale. A questo proposito Gómez-Soria et al. (2021) ad esempio hanno individuato nella capacità di orientamento temporale un indicatore significativo del passaggio da una condizione di invecchiamento sano a una di deterioramento cognitivo. Più nello specifico è emerso come un declino a carico della capacità di orientamento temporale sia associato a un maggior rischio di incorrere in una condizione di MCI, oltre che a una maggior probabilità che tale condizione degeneri poi in una demenza (Gómez-Soria et al., 2021).

L'indagine circa la percezione implicita del tempo nell'invecchiamento riguarda infine l'utilizzo di compiti di ritmo, con specifico riferimento all'uso di stimoli di tipo uditivo.

A tal proposito si ricorda nuovamente lo studio di Hiroyasu & Yotsumoto (2020) che costituisce una delle principali evidenze circa la generale preservazione della percezione implicita del tempo nell'invecchiamento. Lo studio prevedeva l'utilizzo di un paradigma oddball: al partecipante venivano proposte sequenze di stimoli uditivi, presentate rispettivamente secondo un ritmo regolare o, al contrario, irregolare; il paradigma prevedeva inoltre la presentazione di una serie di stimoli standard, intervallati da alcuni stimoli "oddball" (di durata più breve), a cui il soggetto doveva rispondere. I risultati mostrano nel complesso una performance analoga tra giovani e anziani: entrambi i gruppi infatti mostrano RT minori in presenza di ritmi regolari e, viceversa, RT maggiori in presenza di ritmi irregolari (Hiroyasu & Yotsumoto, 2020). Questo risultato è pertanto in linea con l'ipotesi di una certa stabilità dell'elaborazione implicita del tempo nel corso dell'invecchiamento, almeno per quanto concerne i processi più automatici di elaborazione del tempo, tra cui appunto la percezione del ritmo.

Ciò nonostante, gli autori hanno comunque indagato anche la possibile dipendenza dell'elaborazione di sequenze temporali ritmiche dal funzionamento cognitivo generale (Hiroyasu & Yotsumoto, 2020). Con questo obiettivo gli autori hanno infatti introdotto una condizione di doppio compito, in cui al compito di ritmo veniva associato un compito di memoria (svolto contemporaneamente): lo scopo era quello di verificare se e in quale misura l'aumento del carico cognitivo portasse a un declino nella performance al compito di ritmo. I risultati hanno infatti evidenziato un rallentamento dei RT nella condizione di doppio compito. A spiegazione di ciò gli autori propongono come la condizione di doppio compito (ad alto carico cognitivo) possa aver colliso con la limitata quantità di risorse attentive caratteristica dell'invecchiamento, portando di conseguenza a un calo della performance (Hiroyasu & Yotsumoto, 2020). Ne deriva infine come la percezione del ritmo, per quanto automatica, sia comunque almeno in parte dipendente dal sistema esecutivo e attentivo (Hiroyasu & Yotsumoto, 2020; Ragot et al., 2002).

In linea con quanto appena emerso, diversi autori ipotizzano infatti come eventuali difficoltà nella percezione e produzione di sequenze ritmiche in età avanzata siano da ritenersi indicative, non solo di un generale rallentamento di un ipotetico 'orologio

interno', ma anche di un declino a carico soprattutto delle funzioni attentive e della memoria di lavoro (Ragot et al., 2002).

Nel complesso è quindi possibile concludere come ulteriori studi siano necessari per comprendere più nel dettaglio gli effetti dell'invecchiamento sul tempo implicito, soprattutto in relazione ai compiti di foreperiod e di orientamento temporale, per i quali i risultati sono piuttosto eterogenei. Ulteriori studi sono inoltre necessari anche al fine di delineare e chiarire eventuali differenze tra invecchiamento sano e patologico nel tempo implicito, con specifico riferimento ai 3 compiti finora considerati.

CAPITOLO 3 – STIMA DEL TEMPO IMPLICITA IN UN CAMPIONE DI ANZIANI SANI E CON DETERIORAMENTO COGNITIVO

3.1 Obiettivi.

La ricerca di seguito presentata ha l'obiettivo di indagare in un campione di giovani, anziani sani e con deterioramento cognitivo la percezione implicita del tempo, misurata attraverso, rispettivamente, un compito di foreperiod, un compito di orientamento temporale e un compito di ritmo (regolare e irregolare).

In linea con la letteratura, ci si aspetta generalmente di confermare una certa stabilità nella prestazione ai compiti di tempo implicito nell'arco di vita (Capizzi et al., 2022; Droit-Volet et al., 2019; Hiroyasu & Yotsumoto, 2020). In altri termini ci si aspetta una prestazione simile tra giovani e anziani. Si ipotizza tuttavia come anche il livello cognitivo possa in parte influenzare la percezione implicita del tempo, ipotizzando, di conseguenza, una diversa prestazione tra anziani sani e con deterioramento cognitivo. Si esplora infine se esistano differenze nella prestazione ai tre compiti di tempo implicito utilizzati, in funzione dell'età e/o del livello cognitivo.

3.2 Metodo.

3.2.1 Partecipanti.

Sono stati coinvolti nella ricerca 71 partecipanti, suddivisi come segue:

- Giovani: N=14 (4 maschi e 10 femmine)
- Anziani sani (MMSE \geq 26): N=25 (8 maschi e 17 femmine)
- Anziani con deterioramento cognitivo (MMSE < 26): N=32 (11 maschi e 21 femmine)

I partecipanti sono stati reclutati da più sperimentatori. Chi scrive ha raccolto i dati di 31 soggetti su un totale di 71 partecipanti al progetto di ricerca.

Tutti i partecipanti raccolti sono stati reclutati nel padovano e in provincia di Pordenone e sono di madrelingua italiana; in particolare chi scrive ha reclutato i soggetti grazie alle proprie conoscenze e alla frequentazione di alcuni Centri Diurni afferenti al Servizio Sociale.

Relativamente al gruppo di anziani con deterioramento cognitivo, si riportano di seguito le diagnosi raccolte (quando presenti) a partire dalla documentazione medica disponibile: involuzione cerebrale con deterioramento cognitivo medio-grave, lieve decadimento cognitivo, vasculopatia cerebrale cronica, atrofia corticale con aumento degli spazi liquorali, encefalopatia vascolare ischemica cronica multifartuale, AD lieve-moderata, VaD lieve-moderata, FTD, decadimento cognitivo a genesi mista.

I criteri di inclusione sono stati: a) età uguale o superiore a 65 anni per la fascia anziana; b) età compresa tra i 18 e i 30 anni per la fascia giovane c) capacità di firmare in autonomia il consenso informato alla partecipazione alla ricerca; d) assenza di eventi ischemici nel gruppo di anziani sani; e) assenza di deficit visivi e/o uditivi gravi; f) assenza di malattia di Parkinson; g) assenza di gravi disturbi psichici.

3.2.2 Materiali.

I materiali utilizzati nel corso di ciascuna sessione sperimentale sono stati:

- Un test di screening carta e matita (Mini Mental State Examination – MMSE)
- Un personal computer
- Un mouse
- Un software di programmazione di esperimenti di psicologia (Opensesame), attraverso cui sono stati costruiti e presentati i 3 compiti di tempo implicito.

Più nello specifico è stato proposto un compito computerizzato, realizzato per mezzo del software Opensesame (Mathôt et al., 2012) con frequenza di campionamento 48 kHz. Gli stimoli sono stati presentati ai partecipanti tramite un personal computer (HP Laptop 15s-eq0058nl) con velocità 2296 MHz, processore AMD Ryzen 7 3700U with Radeon Vega Mobile Gfx 2.30 GHz, scheda video AMD Radeon(TM) RX Vega 10 Graphics e scheda audio Realtek(R) con casse acustiche integrate. Le risposte dei partecipanti sono state raccolte per mezzo del mouse (INPHIC wireless M1P).

Livello cognitivo.

Mini Mental State Examination (MMSE); (Folstein et al., 1975).

Si tratta di un test ampiamente utilizzato nella pratica clinica della valutazione delle funzioni cognitive di soggetti anziani. È un test di facile e rapida somministrazione (5-10 minuti) ed è attendibile nel determinare il grado di deficit cognitivo e nel monitorarne la progressione in condizioni di demenza. È composto da 11 items, in parte

verbali in parte di performance, che testano, rispettivamente, 6 diverse aree cognitive: orientamento spazio-temporale, codifica, attenzione e calcolo, rievocazione, abilità visuo-spaziali e linguaggio.

Esistono inoltre versioni specifiche del test in base alla nazione in cui questo viene somministrato.

Il punteggio massimo è 30. Inoltre, pur non trattandosi di uno strumento diagnostico, specifici cut-off permettono di distinguere tra profili cognitivi diversi sulla base del grado di compromissione cognitiva emerso:

- 30-24: nessuna compromissione
- 24-20: sospetta compromissione
- 19-17: compromissione lieve
- 16-10: compromissione moderata
- 9-0: compromissione grave

Il punteggio grezzo può poi essere corretto in base all'età e al numero di anni di scolarizzazione del soggetto. La correzione non si applica né per età < 65 anni e > 89 anni, né per scolarità > 17 anni, né per un punteggio 30/30.

La somministrazione richiede l'utilizzo dei seguenti materiali: protocollo del test, orologio da polso, matita e gomma.

Compiti di tempo implicito.

Compito di foreperiod.

Ciascun trial prevede la presentazione in sequenza di una croce di fissazione (+) al centro dello schermo, uno stimolo visivo di avvertimento (due cerchi concentrici luminosi) e uno stimolo target (un asterisco) a cui il partecipante è chiesto di rispondere "il più velocemente possibile" premendo il tasto sinistro del mouse. Tutti gli stimoli presentati sono bianchi su sfondo nero.

Sia il punto di fissazione che lo stimolo di avvertimento presentati avevano durata 500 ms.

La manipolazione sperimentale riguarda la durata dell'intervallo di foreperiod – tra lo stimolo di avvertimento e lo stimolo target – che, nella ricerca in oggetto, poteva essere di 400 ms, 800 ms, 1200 ms o 1600 ms. L'ordine di presentazione delle durate è stato randomizzato tra i trials. Per ciascun intervallo di foreperiod sono stati presentati 12 trials.

Seguiva la presentazione dello stimolo target, il quale, di nuovo, poteva comparire a destra o a sinistra rispetto alla croce di fissazione in maniera del tutto casuale.

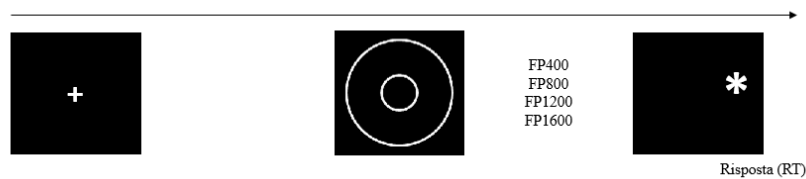


Figura 13. Rappresentazione schematica di un singolo trial del compito di foreperiod.

Compito di orientamento temporale.

Ciascun trial prevede la presentazione in sequenza di una croce di fissazione al centro dello schermo (1) e di uno stimolo cue (2), a sua volta predittivo rispetto alla successiva comparsa dello stimolo target (3). Più nello specifico, come per il compito di foreperiod, sono stati presentati due cerchi concentrici come stimolo cue: se si illuminava il cerchio piccolo (interno), ciò significava che l'asterisco (stimolo target) sarebbe comparso dopo un intervallo breve (400 ms); viceversa, se si illuminava il cerchio grande (esterno), allora l'asterisco sarebbe comparso dopo un intervallo più lungo (1600 ms). L'associazione cue-target poteva poi essere presentata in condizione valida/predittiva (lo stimolo cue è effettivamente predittivo rispetto alla successiva comparsa del target) o, viceversa, in condizione invalida/non predittiva. Nello specifico, per la condizione predittiva sono stati presentati 16 trials, per quella non predittiva 32.

Compito del partecipante rimane quello di rispondere il più velocemente possibile, premendo il tasto sinistro del mouse, alla comparsa dell'asterisco. Come per il compito di foreperiod, tutti gli stimoli presentati sono bianchi su sfondo nero, l'ordine di presentazione degli intervalli cue-target è stato randomizzato tra i trials, così come la posizione di comparsa dell'asterisco (a destra o a sinistra della croce di fissazione).





Figura 14. Rappresentazione schematica di un singolo trial del compito di orientamento temporale.

Compito di ritmo regolare e irregolare.

Ciascun trial prevede la presentazione di una croce di fissazione (+) al centro dello schermo, a cui segue una sequenza – regolare o irregolare – di suoni (segnali di avvertimento). Ciascuna sequenza è composta infatti da 5 suoni, presentati o ad intervallo fisso (sequenza regolare) o ad intervallo variabile in ordine randomizzato (sequenza irregolare). Nello specifico i suoni a sequenza regolare vengono presentati ad un intervallo fisso (tra un suono e il successivo) pari a 500 ms; viceversa i suoni a sequenza irregolare presentano un intervallo inter-stimulus (ISI) variabile: 100 ms, 300 ms, 500 ms, 700 ms e 900 ms (l'ordine di presentazione è stato randomizzato tra i trials).

Seguiva la presentazione dello stimolo target (un asterisco), a distanza di un intervallo fisso (SOA) dall'ultimo segnale di avvertimento pari a 1000 ms, alla comparsa del quale al partecipante, di nuovo, veniva chiesto di rispondere “il più velocemente possibile” (premendo il tasto sinistro del mouse). Come per i compiti precedenti, la posizione di comparsa del target rispetto alla croce di fissazione è stata randomizzata tra i trials.

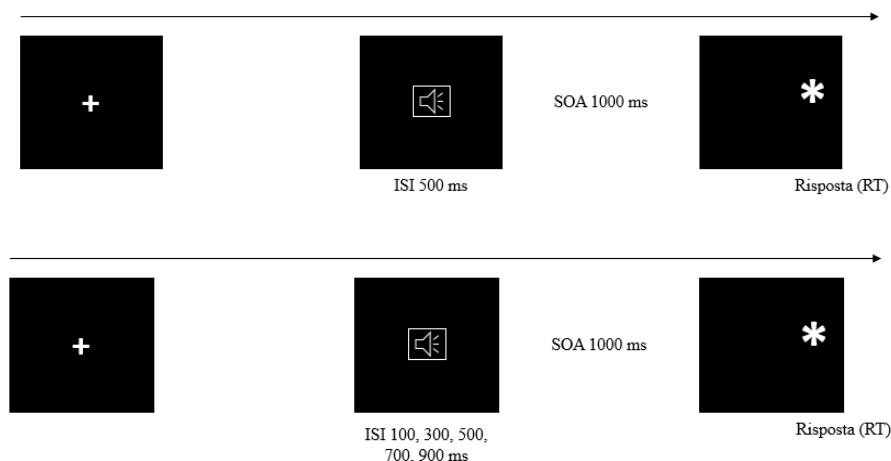


Figura 15. Rappresentazione schematica di un trial del compito di ritmo (in alto è rappresentata una condizione di ritmo regolare, in basso una di ritmo irregolare).

3.2.3 Procedura.

Ciascun partecipante ha preso parte ad un'unica sessione individuale della durata di circa 90 minuti.

Dopo aver firmato il modulo di consenso informato alla partecipazione e al trattamento dei dati, ai partecipanti anziani è stato somministrato il MMSE.

In questa fase sono state inoltre raccolte alcune informazioni demografiche per ciascun partecipante (età, genere e anni di scolarizzazione). Nel gruppo di anziani con deterioramento cognitivo sono state inoltre raccolte preliminarmente anche specifiche informazioni clinico-anamnestiche, riguardanti principalmente il tipo di diagnosi ricevuta.

Seguiva la somministrazione dei tre compiti computerizzati di tempo implicito, della durata totale di 25 minuti circa. I partecipanti hanno svolto i compiti in un ambiente silenzioso e ben illuminato. Lo schermo del computer (15,6") era posizionato davanti a ciascun partecipante a una distanza di circa 60 cm e leggermente rialzato rispetto al piano di appoggio. Al partecipante veniva chiesto di rispondere premendo il tasto sinistro del mouse (contrassegnato da un'apposita etichetta). Ciascun partecipante eseguiva, nell'ordine, una prima fase di prova a cui seguiva il compito sperimentale vero e proprio. La fase di prova era strutturata sulla performance del partecipante. Il compito sperimentale comprendeva la presentazione, in ordine casuale, di due sessioni del compito di foreperiod, un compito di orientamento temporale e un compito di ritmo.

3.3 Risultati.

Tutte le analisi statistiche sono state svolte per mezzo del software Jamovi (versione 2.3; The Jamovi Project, 2022).

In Tabella 3.1 sono riportate le statistiche descrittive delle caratteristiche demografiche e della prova di screening del campione (punteggio grezzo), suddivise per gruppo di appartenenza: giovani, anziani sani e anziani con deterioramento cognitivo.

	Gruppo	Età	Scolarità	MMSE
<i>M</i>	Deterioramento cognitivo	79.90 (7.39)	7.06 (4.09)	22.40 (3.31)
	Anziani	74.30 (6.73)	8.12 (3.82)	28.10 (1.41)
	Giovani	23.80 (3.38)	14.60 (2.14)	/

	Gruppo	Età	Scolarità	MMSE
<i>Min.</i>	Deterioramento cognitivo	65.00	3.00	11.50
	Anziani	65.00	4.00	26.00
	Giovani	18.00	13.00	/
<i>Max.</i>	Deterioramento cognitivo	95.00	18.00	25.00
	Anziani	90.00	18.00	30.00
	Giovani	30.00	18.00	/

Tabella 3.1. *Statistiche descrittive delle caratteristiche demografiche e della prova di screening (per la fascia anziana) suddivise per gruppo di appartenenza.*

Per ciascun compito sono state eseguite delle analisi ANOVA a misure ripetute, utilizzando sia la variabile *within* (entro i soggetti) che la variabile *between* (tra i soggetti).

Compito di foreperiod.

L'analisi ANOVA ha preso in considerazione come variabili indipendenti la durata dell'intervallo di *Foreperiod* (fattore entro i soggetti), il *Gruppo* (fattore tra i soggetti) e l'interazione tra i due (*Foreperiod* × *Gruppo*). La variabile dipendente sono i RT.

È innanzitutto emerso, complessivamente, un effetto statisticamente significativo del fattore *Foreperiod* trasversalmente ai tre gruppi sperimentali ($F(3, 2.42) = 7.91, p < .001, \eta^2_p = .007$). I test post hoc hanno, nello specifico, evidenziato differenze statisticamente significative nei RT tra l'intervallo FP400 e l'intervallo FP800 ($t(68) = 2.79, p_{\text{tukey}} = 0.033$), tra l'intervallo FP400 e l'intervallo FP1200 ($t(68) = 4.32, p_{\text{tukey}} < .001$) e tra l'intervallo FP400 e l'intervallo FP1600 ($t(68) = 3.67, p_{\text{tukey}} = 0.003$). Nel complesso dunque i RT risultano significativamente maggiori nella condizione FP400 rispetto agli intervalli di foreperiod più lunghi (Figura 16). Non emergono invece differenze statisticamente significative tra FP800 e FP1200 ($p_{\text{tukey}} = .80$), tra FP800 e FP1600 ($p_{\text{tukey}} = .28$) e tra FP1200 e FP1600 ($p_{\text{tukey}} = .96$).

Anche il fattore *Gruppo* mostra un effetto statisticamente significativo ($F(2, 68) = 15.30, p < .001, \eta^2_p = .287$). Nello specifico, i test post hoc evidenziano differenze

significative nei RT tra il gruppo anziani sani e con deterioramento cognitivo ($t(68) = 4.65, p_{\text{tukey}} < .001$) e tra gli anziani con deterioramento cognitivo e il gruppo dei giovani ($t(68) = 4.47, p_{\text{tukey}} < .001$), mostrando quindi, nel complesso, RT significativamente maggiori nel gruppo deterioramento cognitivo rispetto ai gruppi giovani e anziani sani (Figura 17). Non emerge invece alcuna differenza statisticamente significativa nella prestazione tra il gruppo dei giovani e il gruppo di anziani sani ($p_{\text{tukey}} = .84$).

L'interazione *Foreperiod* \times *Gruppo* infine non risulta essere significativa ($p = .95$), suggerendo pertanto come l'effetto foreperiod sia presente, non solo trasversalmente ai tre gruppi, ma anche indipendentemente dalla presenza di deterioramento cognitivo (Figura 18).

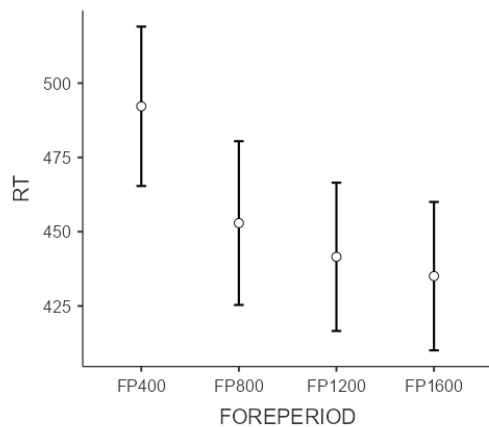


Figura 16. *Effetto foreperiod.*

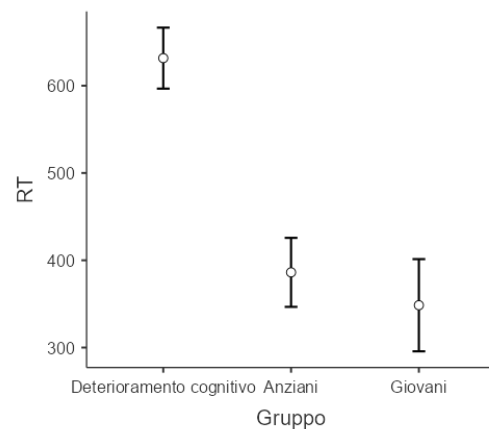


Figura 17. *Effetto del gruppo.*

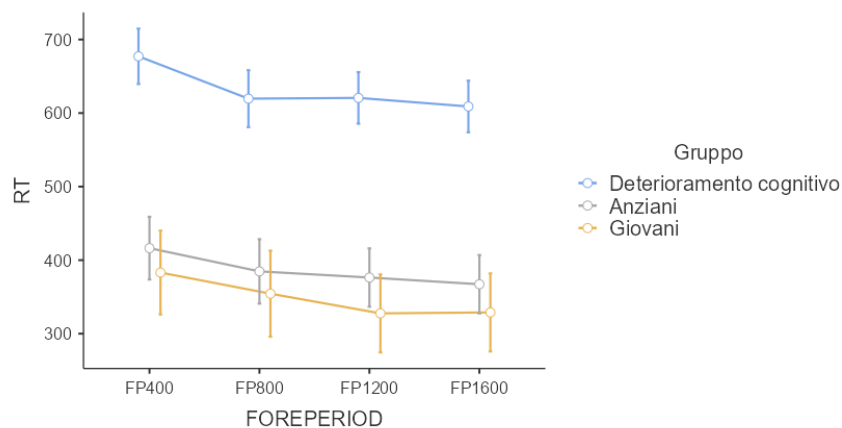


Figura 18. *Andamento dell'effetto foreperiod in funzione del gruppo.*

Compito di orientamento temporale.

Nell'analisi ANOVA sono stati inseriti come fattori entro i soggetti l'effetto *Temporal Orienting (TO)* e la *Durata* dell'intervallo di foreperiod; di nuovo, come fattore tra i

soggetti è stato considerato il *Gruppo*. Sono state inoltre considerate anche le interazioni tra di essi. La variabile dipendente sono i RT.

L'analisi entro i soggetti mostra un unico effetto statisticamente significativo, l'effetto cioè della *Durata* ($F(1) = 22.87, p < .001, \eta^2_p = .007$), evidenziando dunque, di nuovo, un effetto foreperiod significativo (Figura 19). Le analisi post hoc mostrano infatti una differenza significativa nei RT tra le condizioni, rispettivamente, di intervallo di foreperiod breve (400 ms) e intervallo di foreperiod lungo (1600 ms) ($t(68) = 4.78, p_{\text{tukey}} < .001$). Non emerge invece un effetto *TO* statisticamente significativo ($p = .76$). Ciò delinea come i RT non risentano in maniera significativa della presentazione di condizioni predittive o, al contrario, non predittive.

L'analisi tra i soggetti mostra un effetto significativo del *Gruppo* ($F(2, 68) = 18.10, p < .001, \eta^2_p = .314$) (Figura 20). Di nuovo, come per il compito di foreperiod, si attesta infatti una differenza statisticamente significativa nei RT tra anziani sani e con deterioramento cognitivo ($t(68) = 4.76, p_{\text{tukey}} < .001$) e tra anziani con deterioramento cognitivo e giovani ($t(68) = 5.17, p_{\text{tukey}} < .001$); si conferma inoltre, viceversa, una prestazione analoga tra giovani e anziani sani ($p_{\text{tukey}} = .482$).

Nessuna interazione infine è risultata statisticamente significativa: $TO \times Gruppo$ ($p = .62$), $Durata \times Gruppo$ ($p = .40$), $TO \times Durata$ ($p = .59$), $TO \times Durata \times Gruppo$ ($p = .76$).

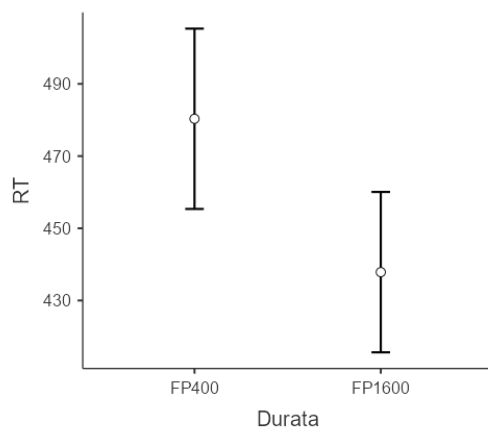


Figura 19. Riproduzione dell'effetto foreperiod.

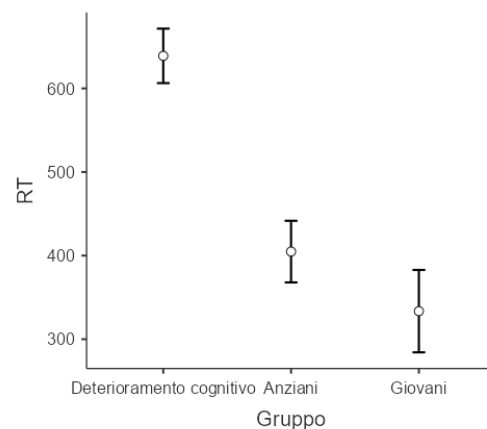


Figura 20. Effetto del gruppo.

Ad ulteriore approfondimento delle analisi effettuate, è stata eseguita una seconda analisi che ha avuto ad oggetto il solo gruppo dei giovani. Essendo infatti l'assenza di un

effetto *TO* significativo nei giovani un risultato in contrasto con la letteratura esistente, è stato ritenuto opportuno indagare ulteriormente questo aspetto. Le analisi effettuate singolarmente sul gruppo dei giovani hanno infatti evidenziato come limitatamente a quest'ultimo ci sia un effetto *TO* significativo ($F(1, 13) = 5.30, p = .038, \eta^2_p = .034$), con RT quindi significativamente superiori nelle condizioni non predittive rispetto a quelle predittive ($t(13) = -2.30, p_{\text{tukey}} = .038$) (Figura 21).

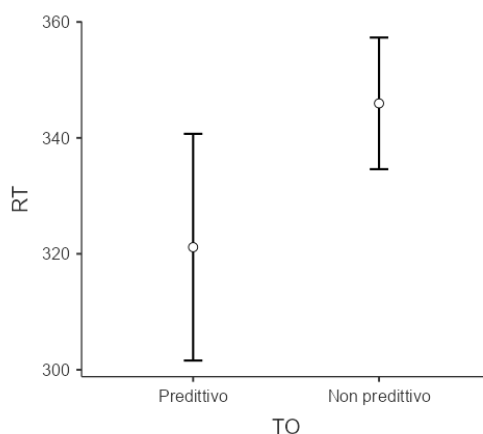


Figura 21. *Effetto di Orientamento Temporale nel gruppo dei giovani.*

Compito di ritmo.

Le analisi ANOVA hanno preso in considerazione come variabili indipendenti il fattore *Ritmo* (fattore entro i soggetti), il *Gruppo* (fattore tra i soggetti) e l'interazione tra i due. La variabile dipendente, di nuovo, è data dai RT.

I risultati mostrano un effetto statisticamente significativo di entrambi i fattori: *Ritmo* ($F(1) = 5.59, p = .021, \eta^2_p = .003$) e *Gruppo* ($F(2, 68) = 10.90, p < .001, \eta^2_p = .232$).

Le analisi post hoc mostrano infatti come ci sia, complessivamente e in maniera trasversale ai gruppi, una differenza significativa nei RT in presenza di ritmi, rispettivamente, regolari e irregolari ($t(68) = -2.36, p_{\text{tukey}} = .021$), con un aumento significativo dei RT per ritmi irregolari (Figura 22).

In relazione al *Gruppo*, come per i compiti precedenti, emerge una differenza statisticamente significativa nei RT complessivi tra il gruppo di anziani sani e con deterioramento cognitivo ($t(68) = 3.41, p_{\text{tukey}} = .003$) e tra il gruppo di anziani con deterioramento cognitivo e i giovani ($t(68) = 4.22, p_{\text{tukey}} < .001$); di nuovo, la prestazione tra giovani e anziani sani non sembra invece differire in maniera significativa ($p_{\text{tukey}} = .39$) (Figura 23).

L'interazione *Ritmo* × *Gruppo* non risulta infine significativa ($p = .60$), suggerendo come l'effetto Ritmo sia presente anche in presenza di deterioramento cognitivo (Figura 24).

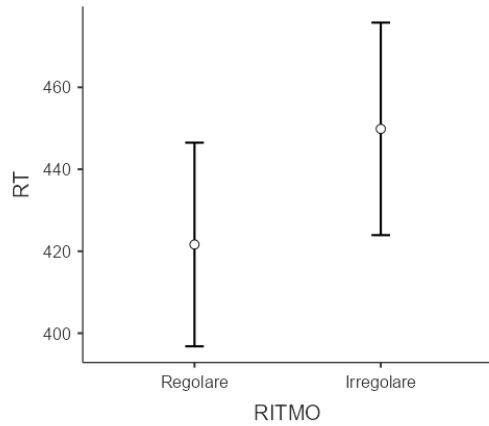


Figura 22. *Effetto del Ritmo.*

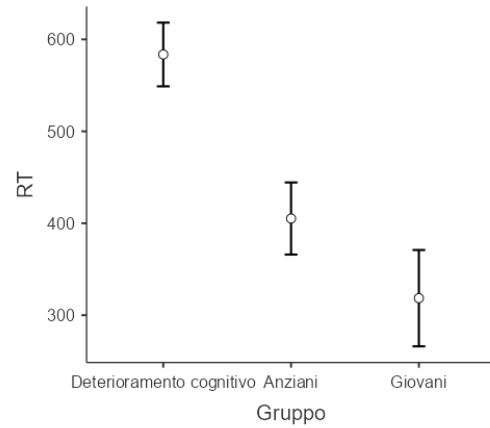


Figura 23. *Effetto del gruppo.*

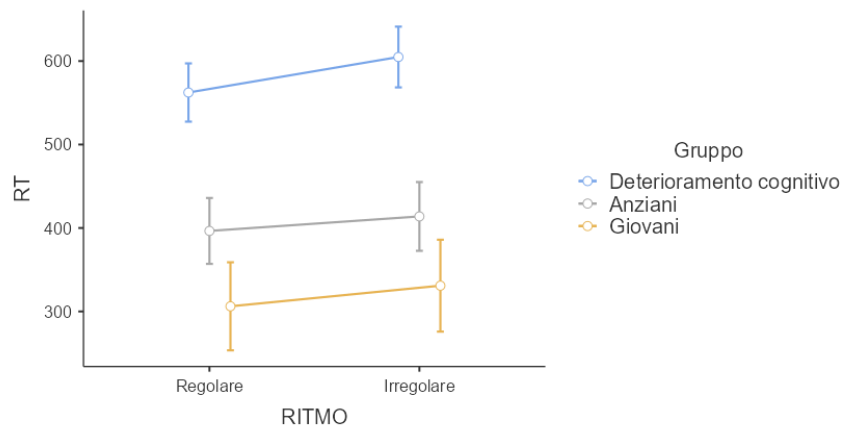


Figura 24. *Andamento dell'effetto del Ritmo in funzione del gruppo.*

3.4 Discussione e conclusioni.

Il presente elaborato si è focalizzato sulla percezione implicita del tempo, delineando quest'ultima come un processo generalmente stabile nell'arco di vita e preservato nell'invecchiamento (Capizzi et al., 2022; Droit-Volet et al., 2019; Hiroyasu & Yotsumoto, 2020), in linea con la 'psicologia dell'arco di vita' e con l'idea di invecchiamento come fenomeno multi-dimensionale e multi-direzionale (Baltes, 1987). L'elaborato ha poi considerato, più nel dettaglio, i principali cambiamenti neurali e cognitivi che caratterizzano invecchiamento sano e patologico, argomentando, più nello

specifico, l'ipotesi di una sostanziale indipendenza del tempo implicito dal funzionamento cognitivo generale.

La ricerca presentata ha avuto l'obiettivo di indagare in un campione di giovani e anziani (sani e con deterioramento cognitivo) la percezione implicita del tempo alla luce di tali considerazioni, attraverso la somministrazione di tre compiti sperimentali: un compito di foreperiod, uno di orientamento temporale e un compito di ritmo.

I risultati ottenuti mostrano innanzitutto, trasversalmente ai tre compiti sperimentali, un incremento significativo dei RT nel gruppo di anziani con deterioramento cognitivo; al contrario, giovani e anziani sani non mostrano in questo senso differenze significative nella prestazione. Come già argomentato, tuttavia, un rallentamento nei RT non è da ritenersi indicativo di per sé di un deficit a carico dell'elaborazione implicita del tempo, la quale, al contrario, dipenderebbe dalla presenza o meno degli effetti, rispettivamente, di foreperiod, di orientamento temporale e di ritmo.

Procedendo con ordine, la prestazione al compito di foreperiod ha mostrato un effetto foreperiod significativo: in altri termini si conferma cioè, in generale, una diminuzione dei RT all'aumentare della durata dell'intervallo di foreperiod proposto. Si ricorda come tale effetto sia indicativo della presenza di un processo di 'preparazione temporale' e quindi, indirettamente, anche di elaborazione implicita del tempo (Vatakis et al., 2018). I risultati mostrano inoltre come tale effetto, in linea con le ipotesi, sia presente trasversalmente ai tre gruppi sperimentali, indipendentemente cioè dall'età e dal livello cognitivo.

I risultati al compito di orientamento temporale confermano di nuovo un effetto foreperiod statisticamente significativo. Non emerge tuttavia un effetto di orientamento temporale altrettanto significativo. In altri termini cioè i partecipanti sembrano non utilizzare in maniera ottimale le informazioni veicolate dai cue per predire la successiva comparsa dello stimolo target. Questi risultati in parte confermano quanto emerso da studi precedenti, che mostrano come con l'invecchiamento spesso si assista a una riduzione dell'effetto di orientamento temporale (Bollinger et al., 2011; Hämmerer et al., 2010; Pincham et al., 2012; Zanto et al., 2011; Zanto & Gazzaley, 2014); d'altra parte quest'ultimo non sembra però essere presente nemmeno nel gruppo dei giovani, diversamente da quanto ci si aspetterebbe. L'analisi eseguita singolarmente su quest'ultimo ha tuttavia confermato, in linea con la letteratura esistente, un effetto di

orientamento temporale statisticamente significativo, suggerendo pertanto come i giovani, diversamente dagli anziani, utilizzino le informazioni veicolate dai cue per orientare volontariamente l'attenzione nel tempo.

Il compito di ritmo, infine, mostra una differenza statisticamente significativa nella prestazione in presenza, rispettivamente, di ritmi regolari e irregolari, con un miglioramento cioè della prestazione stessa in presenza di stimolazioni ritmicamente regolari. Tale effetto si attesta inoltre trasversalmente ai tre gruppi, mostrando quindi, in maniera analoga all'effetto foreperiod, una sostanziale indipendenza sia dall'età che dal livello cognitivo.

I risultati nel complesso suggeriscono come la percezione implicita del tempo sia, in linea con le ipotesi, generalmente stabile e ben preservata indipendentemente dall'età e dall'eventuale presenza di un processo di invecchiamento patologico. Tali considerazioni vanno comunque prese con cautela, alla luce sia della grande eterogeneità dei risultati sul tema sia delle differenze emerse tra compiti sperimentali diversi. Se infatti l'ipotesi di una generale stabilità della percezione implicita del tempo nell'arco di vita risulta avvalorata da quanto emerso dai compiti, rispettivamente, di foreperiod e di ritmo, il compito di orientamento temporale d'altra parte suggerisce come al tempo stesso si assista a un declino età-dipendente nella capacità di orientare volontariamente l'attenzione nel tempo. Si conferma dunque innanzitutto la centralità delle funzioni attentive nella percezione del tempo, anche implicita (Bolger et al., 2014; J. T. Coull & Nobre, 1998); si ipotizza tuttavia come compiti diversi richiedano un diverso grado di controllo attentivo. Da un lato infatti i compiti di ritmo e di foreperiod ben rappresentano il coinvolgimento di un processo di orientamento *automatico* dell'attenzione nel tempo. Dall'altro il compito di orientamento temporale richiede, viceversa, l'azione, in generale, di processi a più alto grado di controllo cognitivo e, nello specifico, di una componente *volontaria* dell'attenzione. In linea con gli obiettivi del presente elaborato e con quanto discusso in precedenza, si conferma dunque l'ipotesi di un processo di invecchiamento caratterizzato da una sostanziale stabilità dei processi cognitivi automatici, laddove, al contrario, emerge un declino più o meno significativo di processi maggiormente controllati e volontari (Correa-Jaraba et al., 2016; Lincourt et al., 1997; Peretti et al., 2008). In questo senso la percezione implicita del tempo non fa eccezione.

È dunque possibile concludere come la percezione implicita del tempo sia generalmente stabile nell'arco di vita. I risultati emersi suggeriscono tuttavia come anch'essa costituisca un processo multi-dimensionale e multi-direzionale, con una sostanziale preservazione dei meccanismi più automatici (tra cui l'effetto foreperiod e del ritmo) a fronte, viceversa, di un declino età-dipendente di processi più controllati e volontari (quale l'effetto di orientamento temporale). Ciò suggerisce come anche l'ipotesi di indipendenza del tempo implicito sia vera in parte: se infatti esso appare generalmente più indipendente del tempo esplicito da processi cognitivi di ordine superiore, esso intrattiene comunque una relazione con questi ultimi e, in particolare, con i meccanismi di natura attentiva.

In conclusione inoltre invecchiamento sano e patologico non differiscono in maniera significativa per quanto concerne la percezione del tempo implicita, essendo entrambi caratterizzati da uno stesso andamento degli effetti considerati, per quanto l'invecchiamento patologico si accompagna a un incremento significativo dei RT. In ultima battuta ciò costituisce un'ulteriore evidenza a sostegno dell'idea, proposta dalla psicologia dell'arco di vita, di un invecchiamento caratterizzato sia da "perdite" che da "guadagni" e specifici meccanismi di compensazione più o meno adeguati (Baltes, 1987; Cabeza, 2002; Davis et al., 2008; Goh & Park, 2009; Park & Reuter-Lorenz, 2009).

I limiti della presente ricerca sono da ricondursi innanzitutto ad alcune caratteristiche del campione in esame, essendo, in particolare, il gruppo di anziani con deterioramento cognitivo piuttosto eterogeneo da un punto di vista diagnostico. In prospettiva futura ulteriori studi potrebbero dunque considerare un campione più omogeneo – caratterizzato cioè dalla presenza di una stessa patologia neurodegenerativa – al fine di indagare gli effetti specifici che quest'ultima potrebbe avere sulla percezione implicita del tempo.

Ulteriori studi sono inoltre necessari per indagare effetti specifici del tempo implicito. Si citano a titolo d'esempio gli effetti sequenziali (non considerati all'interno della presente ricerca), la relazione tra effetto foreperiod e processi automatici vs controllati – riguardo alla quale la letteratura propone ipotesi eterogenee – (Mioni et al., 2018; Vatakis et al., 2018) o l'interazione tra effetto di orientamento temporale e durata dell'intervallo di foreperiod (Vatakis et al., 2018).

Nuove linee di ricerca potrebbero infine indagare ulteriormente le basi neurali del tempo implicito e la relazione tra quest'ultimo e funzioni cognitive specifiche.

I risultati ottenuti rivestono comunque una grande importanza alla luce dei temi trattati nel presente elaborato, confermando l'ipotesi di una percezione del tempo implicita stabile nell'arco di vita su cui eventualmente poter agire in ottica di stimolazione e riabilitazione nell'invecchiamento sia sano che patologico.

Bibliografia

American Psychiatric Association (APA) (2013), DSM-5. Manuale diagnostico e statistico dei disturbi mentali, tr. it. Raffaello Cortina, Milano, 2014.

Arbula, S., Pacella, V., De Pellegrin, S., Rossetto, M., Denaro, L., D'Avella, D., Della Puppa, A., & Vallesi, A. (2017). Addressing the selective role of distinct prefrontal areas in response suppression: A study with brain tumor patients. *Neuropsychologia*, *100*, 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.04.018>

Ballard, C., O'Brien, J., Gray, A., Cormack, F., Ayre, G., Rowan, E., Thompson, P., Bucks, R., McKeith, I., Walker, M., & Tovee, M. (2001). Attention and fluctuating attention in patients with dementia with Lewy bodies and Alzheimer disease. *Archives of Neurology*, *58*(6), 977–982. <https://doi.org/10.1001/archneur.58.6.977>

Baltes, P. B. (1987). Theoretical propositions of life-span developmental psychology: On the dynamics between growth and decline. *Developmental Psychology*, *23*, 611–626. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.23.5.611>

Bolger, D., Coull, J. T., & Schön, D. (2014). Metrical Rhythm Implicitly Orients Attention in Time as Indexed by Improved Target Detection and Left Inferior Parietal Activation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *26*(3), 593–605. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00511

Bollinger, J., Rubens, M. T., Masangkay, E., Kalkstein, J., & Gazzaley, A. (2011). An expectation-based memory deficit in aging. *Neuropsychologia*, *49*(6), 1466–1475. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.021>

Breska, A., & Ivry, R. B. (2018). Double dissociation of single-interval and rhythmic temporal prediction in cerebellar degeneration and Parkinson's disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(48), 12283–12288. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810596115>

Breska, A., & Ivry, R. B. (2021). The human cerebellum is essential for modulating perceptual sensitivity based on temporal expectations. *ELife*, *10*, e66743. <https://doi.org/10.7554/eLife.66743>

- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: The HAROLD model. *Psychology and Aging, 17*(1), 85–100. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.1.85>
- Cabeza, R., Albert, M., Belleville, S., Craik, F. I. M., Duarte, A., Grady, C. L., Lindenberger, U., Nyberg, L., Park, D. C., Reuter-Lorenz, P. A., Rugg, M. D., Steffener, J., & Natasha Rajah, M. (2018). Maintenance, reserve and compensation: The cognitive neuroscience of healthy ageing. *Nature Reviews Neuroscience, 19*(11). <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0068-2>
- Capizzi, M., Sanabria, D., & Correa, Á. (2012). Dissociating controlled from automatic processing in temporal preparation. *Cognition, 123*(2), 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.02.005>
- Capizzi, M., Visalli, A., Faralli, A., & Mioni, G. (2022). Explicit and implicit timing in older adults: Dissociable associations with age and cognitive decline. *PLoS One, 17*(3), e0264999–e0264999. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264999>
- Čeponiene, R., Westerfield, M., Torki, M., & Townsend, J. (2008). Modality-specificity of sensory aging in vision and audition: Evidence from event-related potentials. *Brain Research, 1215*, 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.02.010>
- Chauvin, J. J., Gillebert, C. R., Rohenkohl, G., Humphreys, G. W., & Nobre, A. C. (2016). Temporal orienting of attention can be preserved in normal aging. *Psychology and Aging, 31*(5), 442–455. <https://doi.org/10.1037/pag0000105>
- Cheng, X., Mao, Y., Lei, Y., Lin, C., Lou, C., Fan, Z., & Ding, X. (2021). The internal representation of temporal orienting: A temporal pulse-accumulation and attentional-gating-based account. *Attention, Perception, & Psychophysics, 83*(1), 331–355. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.3758/s13414-020-02176-y>
- Church, R. M., & Gibbon, J. (1982). Temporal generalization. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 8*, 165–186. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.8.2.165>
- Correa-Jaraba, K. S., Cid-Fernández, S., Lindín, M., & Díaz, F. (2016). Involuntary capture and voluntary reorienting of attention decline in middle-aged and old participants. *Frontiers in Human Neuroscience, 10*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00129>

Coull, J., & Nobre, A. (2008). Dissociating explicit timing from temporal expectation with fMRI. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(2), 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.07.011>

Coull, J. T., & Nobre, A. C. (1998). Where and When to Pay Attention: The Neural Systems for Directing Attention to Spatial Locations and to Time Intervals as Revealed by Both PET and fMRI. *Journal of Neuroscience*, *18*(18), 7426–7435. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.18-18-07426.1998>

Coull, J. T., & Nobre, A. C. (2008). Dissociating explicit timing from temporal expectation with fMRI. *Current Opinion in Neurobiology*, *18*(2), 137–144. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.07.011>

Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Qué PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*, *18*(5), 1201–1209. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm155>

Dennis, M., Edelstein, K., Hetherington, R., Copeland, K., Frederick, J., Blaser, S. E., Kramer, L. A., Drake, J. M., Brandt, M., & Fletcher, J. M. (2004). Neurobiology of perceptual and motor timing in children with spina bifida in relation to cerebellar volume. *Brain*, *127*(6), 1292–1301. <https://doi.org/10.1093/brain/awh154>

Droit-Volet, S., & Coull, J. T. (2016). Distinct developmental trajectories for explicit and implicit timing. *Journal of Experimental Child Psychology*, *150*, 141–154. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.05.010>

Droit-Volet, S., Lorandi, F., & Coull, J. T. (2019). Explicit and implicit timing in aging. *Acta Psychologica*, *193*, 180–189. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2019.01.004>

Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). “Mini-mental state”. *Journal of Psychiatric Research*, *12*(3), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)

Geiser, E., Notter, M., & Gabrieli, J. D. E. (2012). A corticostriatal neural system enhances auditory perception through temporal context processing. *The Journal of Neuroscience*, *32*, 6177–6182. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5153-11.2012>

- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, *84*, 279–325. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.3.279>
- Goh, J. O., & Park, D. C. (2009). Neuroplasticity and cognitive aging: The scaffolding theory of aging and cognition. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *27*(5), 391–403. <https://doi.org/10.3233/RNN-2009-0493>
- Gómez-Soria, I., Ferreira, C., Blazquez, B. O., Botaya, R. M. M., & Calatayud, E. (2021). Short-term memory, attention, and temporal orientation as predictors of the cognitive impairment in older adults: A cross-sectional observational study. *PLOS ONE*, *16*(12), e0261313. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261313>
- Grondin, S. (2003). Sensory modalities and temporal processing. In *Time and mind II: Information processing perspectives* (pp. 61–77). Hogrefe & Huber Publishers.
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception: A review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *72*(3), 561–582. <https://doi.org/10.3758/APP.72.3.561>
- Hämmerer, D., Li, S.-C., Müller, V., & Lindenberger, U. (2010). An electrophysiological study of response conflict processing across the lifespan: Assessing the roles of conflict monitoring, cue utilization, response anticipation, and response suppression. *Neuropsychologia*, *48*(11), 3305–3316. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.07.014>
- Hedden, T., & Gabrieli, J. D. E. (2004). Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews. Neuroscience*, *5*(2), 87–96. <https://doi.org/10.1038/nrn1323>
- Hiroyasu, E. M. G., & Yotsumoto, Y. (2020). Older adults preserve accuracy but not precision in explicit and implicit rhythmic timing. *PLoS ONE*, *15*(10). APA PsycInfo. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2021-10051-001&site=ehost-live>
- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, *96*(3), 459–491. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.96.3.459>

- Lincourt, A. E., Folk, C. L., & Hoyer, W. J. (1997). Effects of aging on voluntary and involuntary shifts of attention. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 4(4), 290–303. <https://doi.org/10.1080/13825589708256654>
- Loveless, N. E., & Sanford, A. J. (1974). Effects of Age on the Contingent Negative Variation and Preparatory Set in a Reaction-Time Task. *Journal of Gerontology*, 29(1), 52–63. <https://doi.org/10.1093/geronj/29.1.52>
- Marchant, J. L., & Driver, J. (2013). Visual and Audiovisual Effects of Isochronous Timing on Visual Perception and Brain Activity. *Cerebral Cortex*, 23(6), 1290–1298. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs095>
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314–324. <https://doi.org/10.3758/s13428-011-0168-7>
- McGuinness, B., Barrett, S. L., Craig, D., Lawson, J., & Passmore, A. P. (2010). Attention deficits in Alzheimer’s disease and vascular dementia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 81(2), 157–159. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2008.164483>
- Mioni, G., Capizzi, M., Vallesi, A., Correa, Á., Di Giacopo, R., & Stablum, F. (2018). Dissociating explicit and implicit timing in Parkinson’s disease patients: Evidence from bisection and foreperiod tasks. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00017>
- Mioni, G., Cardullo, S., Ciavarelli, A., & Stablum, F. (2021). Age-related changes in time discrimination: The involvement of inhibition, working memory and speed of processing. *Current Psychology: A Journal for Diverse Perspectives on Diverse Psychological Issues*, 40(5), 2462–2471. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.1007/s12144-019-00170-8>
- Mioni, G., Román-Caballero, R., Clerici, J., & Capizzi, M. (2021). Prospective and retrospective timing in mild cognitive impairment and Alzheimer’s disease patients: A systematic review and meta-analysis. *Behavioural Brain Research*, 410. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2021.113354>
- Park, D. C., & Farrell, M. E. (2016). Chapter 5 - The Aging Mind in Transition: Amyloid Deposition and Progression toward Alzheimer’s Disease. In K. W. Schaie & S. L. Willis

(A. C. Di), *Handbook of the Psychology of Aging (Eighth Edition)* (pp. 87–103). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411469-2.00005-4>

Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The Adaptive Brain: Aging and Neurocognitive Scaffolding. *Annual Review of Psychology*, *60*(1), 173–196. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093656>

Peretti, C.-S., Ferreri, F., Blanchard, F., Bakchine, S., Peretti, C. R., Dobrescu, A., Chouinard, V.-A., & Chouinard, G. (2008). Normal and pathological aging of attention in presymptomatic Huntington's, Huntington's and Alzheimer's disease, and nondemented elderly subjects. *Psychotherapy and Psychosomatics*, *77*(3), 139–146. <https://doi.org/10.1159/000116607>

Pincham, H. L., Killikelly, C., Vuillier, L., & Power, A. J. (2012). Examining the expectation deficit in normal aging. *The Journal of Neuroscience*, *32*(4), 1143–1145. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5255-11.2012>

Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*, 160–174. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.109.2.160>

Ragot, R., Ferrandez, A.-M., & Pouthas, V. (2002). Time, music, and aging. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, *18*, 28–45. <https://doi.org/10.1037/h0094053>

Raz, L., Knöfel, J., & Bhaskar, K. (2016). The neuropathology and cerebrovascular mechanisms of dementia. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, *36*(1), 172–186. <https://doi.org/10.1038/jcbfm.2015.164>

Rushworth, M. F. S., Nixon, P. D., Renowden, S., Wade, D. T., & Passingham, R. E. (1997). The left parietal cortex and motor attention. *Neuropsychologia*, *35*, 1261–1273. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(97\)00050-X](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(97)00050-X)

Soltanlou, M., Nazari, M. A., Vahidi, P., & Nemati, P. (2020). Explicit and implicit timing of short time intervals: Using the same method. *Perception*, *49*(1), 39–51. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.1177/0301006619889554>

- Stopford, C. L., Thompson, J. C., Neary, D., Richardson, A. M. T., & Snowden, J. S. (2012). Working memory, attention, and executive function in Alzheimer's disease and frontotemporal dementia. *Cortex*, 48(4), 429–446. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.12.002>
- Triviño, M., Arnedo, M., Lupiáñez, J., Chirivella, J., & Correa, Á. (2011). Rhythms can overcome temporal orienting deficit after right frontal damage. *Neuropsychologia*, 49(14), 3917–3930. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.10.009>
- Triviño, M., Correa, Á., Arnedo, M., & Lupiáñez, J. (2010). Temporal orienting deficit after prefrontal damage. *Brain: A Journal of Neurology*, 133, 1173–1185. <https://doi.org/10.1093/brain/awp346>
- Triviño, M., Correa, Á., Lupiáñez, J., Funes, M. J., Catena, A., He, X., Humphreys, G. W., Triviño, M., Correa, Á., Lupiáñez, J., Funes, M. J., Catena, A., He, X., & Humphreys, G. W. (2016). Brain networks of temporal preparation: A multiple regression analysis of neuropsychological data. *NeuroImage*, 142, 489–497. <https://doi.org/10.1016/J.NEUROIMAGE.2016.08.017>
- Vallesi, A., McIntosh, A. R., & Stuss, D. T. (2009). Temporal preparation in aging: A functional MRI study. *Neuropsychologia*, 47(13), 2876–2881. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.013>
- Vallesi, A., Mussoni, A., Mondani, M., Budai, R., Skrap, M., & Shallice, T. (2007). The neural basis of temporal preparation: Insights from brain tumor patients. *Neuropsychologia*, 45(12), 2755–2763. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2007.04.017>
- Vallesi, A., & Shallice, T. (2007). Developmental dissociations of preparation over time: Deconstructing the variable foreperiod phenomena. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 1377–1388. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.6.1377>
- Vatakis, A., Balci, F., Luca, M. D., Correa, Á., Vatakis, A., Balci, F., Luca, M. D., & Correa, Á. (A c. Di). (2018). *Timing and Time Perception: Procedures, Measures, & Applications*. Brill. <https://brill.com/view/title/26665>

Watanabe, H., Bagarinao, E., Maesawa, S., Hara, K., Kawabata, K., Ogura, A., Ohdake, R., Shima, S., Mizutani, Y., Ueda, A., Ito, M., Katsuno, M., & Sobue, G. (2021). Characteristics of neural network changes in normal aging and early dementia. *Frontiers in Aging Neuroscience, 13*. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.747359>

Wearden, J. (2016). *The psychology of time perception [risorsa elettronica] / by John Wearden*. Palgrave Macmillan UK Imprint: Palgrave Macmillan.

Wiener, M., Turkeltaub, P. E., & Coslett, H. B. (2010). Implicit timing activates the left inferior parietal cortex. *Neuropsychologia, 48*(13), 3967–3971. APA PsycInfo. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.014>

Wright, M., Geffen, G., & Geffen, L. (1997). Comparative effects of ageing and dementia of the Alzheimer type on orientation of visual attention. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders, 8*(6), 366–375. <https://doi.org/10.1159/000106657>

Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2014). *Attention and Ageing* (A. C. (Kia) Nobre & S. Kastner, A c. Di; Vol. 1). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199675111.013.020>

Zanto, T. P., Pan, P., Liu, H., Bollinger, J., Nobre, A. C., & Gazzaley, A. (2011). Age-Related Changes in Orienting Attention in Time. *The Journal of Neuroscience, 31*(35), 12461–12470. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1149-11.2011>