



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di Laurea Magistrale in Neuroscienze e Riabilitazione Neuropsicologica

Tesi di laurea magistrale

**NEUROFISIOLOGIA DELLA
SUGGESTIONABILITÀ
INTERROGATIVA: UN APPROCCIO
MULTIMODALE CON EEG E
PUPILLOMETRIA NELLA
POPOLAZIONE ANZIANA**

*NEUROPHYSIOLOGY OF INTERROGATIVE SUGGESTIBILITY: A MULTIMODAL
APPROACH WITH EEG AND PUPILLOMETRY IN THE AGING POPULATION*

Relatore: Prof. Andrea Zangrossi

Co-relatrice: Dott.ssa Ottavia Nardiello

Laureando: MATTEO GALBUSERA

Matricola: 2152588

INTRODUZIONE	3
CAPITOLO 1. LA SUGGESTIONABILITÀ INTERROGATIVA.....	5
1.1 Il costrutto di suggestionabilità	5
1.2 La suggestionabilità interrogativa	7
1.2.1 Il modello teorico di Gudjonsson-Clark	8
1.2.2 Fattori legati alla suggestionabilità interrogativa.....	9
1.2.3 La Gudjonsson Suggestibility Scale 2	12
1.2.4 L'approccio sperimentale alla suggestionabilità interrogativa	14
1.2.5 Suggestionabilità interrogativa in ambito forense	16
CAPITOLO 2. ELETTROENCEFALOGRAFIA E PUPILLOMETRIA	21
2.1 Elettroencefalografia.....	21
2.2 Eye-tracking, movimenti oculari e pupillometria	24
2.3 Bande EEG e dati pupillometrici nell'anziano sano.....	28
CAPITOLO 3. UNIRE SUGGESTIONABILITÀ E MISURE NEUROFISIOLOGICHE	30
3.1 La teoria del carico cognitivo	30
3.1.2 Misure psicofisiologiche di carico cognitivo	32
3.1.3 Carico cognitivo e suggestionabilità interrogativa	34
CAPITOLO 4: LO STUDIO	36
4.1 Obiettivi della ricerca.....	36
4.2 Ipotesi	36
4.3 Metodologia	37
4.3.1 Disegno sperimentale	37
4.3.2 Partecipanti	38
4.3.3 Strumenti psicodiagnostici.....	39
4.3.4 Strumentazione EEG ed eye-tracking	41
4.4 Svolgimento delle sessioni.....	43
4.5 Preprocessing dei dati neurofisiologici.....	45
4.5.1 Preprocessing dei dati EEG.....	45
4.5.2 Preprocessing dei dati pupillometrici	47
4.5.3 Analisi dei punteggi alla Gudjonsson Suggestibility Scale 2	49
CAPITOLO 5. RISULTATI E DISCUSSIONE	51
5.1 Analisi	51
5.2 Punteggio GSS-2 e dilatazione pupillare.....	51

5.3 Punteggio GSS-2 e bande EEG.....	52
5.4 Discussione dei risultati.....	53
5.5 Limitazioni e prospettive future	57
<i>CONCLUSIONI</i>.....	59
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	60
<i>SITOGRAFIA</i>.....	83

INTRODUZIONE

Il costrutto di suggestionabilità interrogativa riveste un'importanza fondamentale in ambito psicologico forense. La suggestionabilità interrogativa è definita come la misura in cui una persona accetta informazioni fuorvianti all'interno di un'interazione sociale chiusa, come un interrogatorio formale, e le incorpora nelle proprie risposte comportamentali successive. Dinamiche caratterizzate da pressione, incertezza situazionale, ansia e aspettative di conformismo possono spingere i testimoni o gli indagati a cedere alle domande suggestive degli esaminatori, distorcendone i resoconti. La letteratura scientifica evidenzia l'esistenza di fasce della popolazione maggiormente vulnerabili alla suggestione, tra le quali la popolazione anziana presenta un rischio significativamente elevato. L'avanzare dell'età è fisiologicamente associato a un declino cognitivo e una maggiore difficoltà con i compiti mnemonici. Tali limitazioni mnemoniche, unite spesso a una maggiore propensione ad assecondare figure percepite come autorevoli, rendono gli individui anziani particolarmente suscettibili all'effetto delle domande suggestive.

Tradizionalmente, la valutazione della suggestionabilità si basa su strumenti di indagine psicodiagnostica, come la Gudjonsson Suggestibility Scale (GSS), che misurano la tendenza a cedere alle suggestioni e a cambiare risposta in seguito a un feedback negativo. Tuttavia, questi strumenti, per quanto standardizzati, mantengono un grado di vulnerabilità legato alla soggettività dell'intervistatore, alla variabilità del setting e alla capacità dell'intervistato di controllare il proprio comportamento. Per limitare l'impatto di questi fattori e aggirare le possibili contromisure, è auspicabile affiancare alle misure psicodiagnostiche classiche l'utilizzo di misurazioni neurofisiologiche. L'impiego dell'elettroencefalografia (EEG) e della pupillometria tramite eye-tracking offre un canale di indagine sulle basi neurali e autonome dell'individuo. Il ponte teorico che collega questi indici fisiologici al comportamento suggestibile è fornito dalla Teoria del Carico Cognitivo (*Cognitive Load Theory*). Livelli elevati di carico cognitivo riducono la capacità del soggetto di elaborare criticamente le domande e ne aumentano la suggestionabilità. Il dispendio cognitivo e le variazioni dello stato di attivazione fisiologica (arousal) trovano una precisa corrispondenza fisiologica in alterazioni dello spettro di potenza delle bande EEG (in particolar modo le frequenze alfa e theta) e nelle

dinamiche di dilatazione e variabilità del diametro pupillare, mediate dall'attività del sistema noradrenergico del locus coeruleus.

A partire da questo contesto teorico, il presente elaborato si pone in continuità con una precedente tesi di laurea magistrale (Talin, 2025) e propone uno studio sperimentale volto a individuare i marker neurofisiologici della suggestionabilità interrogativa in un campione di individui sani di età superiore ai 64 anni. Tramite un approccio multimodale che combina la registrazione di parametri pupillometrici e di attività elettrica corticale in condizione di riposo (*resting state EEG*), la ricerca si propone di confrontare i profili neurofisiologici di individui caratterizzati da alta e bassa suggestionabilità misurata tramite la GSS-2. L'identificazione di questi indicatori, pur con le sfide metodologiche che l'adozione di tale razionale comporta, si pone come obiettivo ultimo quello di contribuire alla comprensione di un fenomeno complesso quale quello della suggestionabilità focalizzandosi sulle differenze neurofisiologiche individuali.

CAPITOLO 1. LA SUGGESTIONABILITÀ INTERROGATIVA

1.1 Il costrutto di suggestionabilità

In psicologia il costrutto di suggestionabilità è stato a lungo usato in diverse accezioni non sempre concordi tra loro (Eysenck & Furneaux, 1945). È stato introdotto nel diciannovesimo secolo da parte degli ipnotisti per indicare il fenomeno secondo il quale durante una trance ipnotica un'idea suggerita dall'esterno, ossia una suggestione, si trasforma in azione al momento del suo ingresso nella coscienza (Gudjonsson, 2002). Bernheim (1910) mutuò il concetto e ne diffuse l'utilizzo anche per indicare fenomeni che avvengono nello stato di veglia. Successivamente la suggestionabilità attrasse l'interesse della psicologia sperimentale e vennero sviluppati i primi test adibiti alla misurazione del costrutto. Questi erano generalmente indirizzati a individuare l'influenza della suggestione sul sistema sensoriale o motorio, e il partecipante poteva essere all'oscuro della procedura (test indiretti) oppure essere al corrente dello scopo dello sperimentatore (test diretti) (Gudjonsson, 2002). I test sensoriali consistevano nella presentazione di uno stimolo che suscitava una sensazione o una percezione, stimolo che veniva poi omesso senza informare il partecipante. Se questo riferiva di continuare a provare la stessa sensazione o percezione in assenza del medesimo stimolo, era da considerarsi suggestionabile. I test motori, spesso test diretti, miravano ad influenzare l'individuo a compiere un determinato movimento sulla base di suggestioni simil-ipnotiche, quali “sentire” il braccio tramutarsi in un palo di ferro o sentirsi cadere in avanti e indietro (Gudjonsson, 2002).

Per verificare come fosse possibile classificare i diversi aspetti della suggestionabilità misurati allora dai test in uso, Hans Eysenck (1943) condusse un'analisi fattoriale considerando otto test diversi, sia sensoriali che motori. Egli individuò due fattori indipendenti che spiegavano interamente la correlazione tra i risultati dei suddetti test, e suddivise quindi il costrutto in due: suggestionabilità primaria e suggestionabilità secondaria (Eysenck, 1943). Il concetto di suggestionabilità primaria è descritto come del tipo “ideo-motorio” ed è strettamente legato all'ipnosi. La suggestionabilità secondaria è descritta come del tipo “indiretto” e abbraccia una più varia serie di fenomeni rispetto alla prima. Eysenck definisce la suggestionabilità secondaria “L'esperienza da parte del soggetto di una sensazione o percezione conseguente alla suggestione diretta o implicita da parte dello sperimentatore che tale esperienza avrà luogo, in assenza di una base

oggettiva per tale sensazione o percezione.” (tradotto da Eysenck, 1947, p. 167). Studi successivi trovarono conferma della natura della suggestionabilità primaria, ma si rivelarono critici nei confronti della suggestionabilità secondaria (Evans, 1967). Come riporta Gudjonsson (2002) il primo lavoro che ha sottolineato l’importanza del costrutto di suggestionabilità nel contesto di un interrogatorio è quello di Stukat (1958). Individuò anch’egli un fattore di suggestionabilità secondaria, diverso da quello proposto precedentemente, che descrive invece come rappresentato da test “... in cui diverse influenze soggettive, quali ambiente, aspettative, e bisogno di conformismo, dirigono percezioni, memoria e giudizio individuale.” (tradotto da Stukat, 1958, p. 239).

La natura della suggestionabilità (in particolar modo nella sua accezione “secondaria”) è stata descritta da un variegato insieme di teorie, che Gudjonsson riporta nel suo lavoro sulla psicologia di interrogatori e confessioni (Gudjonsson, 2002). Binet (1900) riteneva che ad influenzare la suggestionabilità fossero la tendenza ad obbedire alle influenze mentali di un’altra persona, la tendenza all’imitazione, l’influenza di idee preconcepite e l’aspettativa. McDougall (1908) associa la suggestionabilità a diversi aspetti, tra cui: stati mentali alterati, scarsa conoscenza del soggetto della comunicazione, personalità di colui che suggestiona, carattere e disposizione del soggetto suggestionabile. Inoltre, Milgram (1974) sottolinea l’importanza dell’autorità esercitata dallo sperimentatore nel processo di suggestione. Nei suoi esperimenti seminali, Milgram descrisse come nella relazione asimmetrica, che si viene a instaurare tra sperimentatore e soggetto, l’autorità riconosciuta al primo ponesse il soggetto nella condizione di fidarsi ciecamente e di compiere azioni che altrimenti avrebbe considerato immorali (Milgram, 1974). Successivamente, Irving e colleghi (1980) hanno traslato il fenomeno nel contesto degli interrogatori effettuati dalle autorità giudiziarie. Inoltre, Gudjonsson si sofferma sul dibattito per decidere se la suggestionabilità sia considerabile un tratto inerente alla persona o uno stato passeggero unicamente condizionato da fattori contingenti. Eysenck (1947) sembra sostenere che la suggestionabilità sia un tratto; contrariamente, autori come Krech e Crutchfield (1948) evidenziano il ruolo cruciale della situazione e dei fattori esterni ed interni contingenti al momento in cui avviene l’opera di suggestione. Secondo gli autori, la scarsa correlazione tra i differenti test di suggestionabilità disponibili all’epoca suggerisce quanto fosse importante la natura della situazione piuttosto che i tratti psicologici della persona. Nella sua rassegna, Stukat (1958) assume

una posizione intermedia, riconoscendo sia l'importanza dei fattori contingenti che la necessaria presa in considerazione di elementi costanti inerenti alla personalità e la predisposizione del soggetto.

1.2 La suggestionabilità interrogativa

La suggestionabilità interrogativa viene introdotta da Binet (1900), il quale elaborò le prime procedure per misurarla tramite l'uso di domande suggestive. Queste ultime sono poste in modo che la risposta sia implicitamente suggerita nella domanda stessa (Gudjonsson, 2002). Binet e autori successivi (Stern, 1910) dimostrarono che l'utilizzo di domande suggestive provoca una distorsione del resoconto testimoniale. La definizione di suggestionabilità interrogativa più rilevante per il presente lavoro è quella data da Gudjonsson e Clark all'interno del loro modello teorico (Gudjonsson & Clark, 1986). Essi la descrivono come “la misura in cui, all'interno di una interazione sociale chiusa, le persone arrivano ad accettare messaggi comunicati durante un interrogatorio formale, con il risultato che le successive risposte comportamentali ne vengono influenzate.” (tradotto da Gudjonsson & Clark, 1986, p. 84). Questa definizione enfatizza cinque componenti fondamentali della suggestionabilità interrogativa:

- **Interazione sociale:** la suggestionabilità è definibile unicamente come fenomeno interno ad un'interazione sociale, in cui una o più persone possono operare la suggestione e una o più possono essere suggestionate. La suggestionabilità è coadiuvata in particolare dalla bassa esposizione del soggetto a influenze esterne distraenti e dunque è facilitata quando l'interazione sociale avviene in una situazione di chiusura in cui sono gli individui che operano la suggestione ad essere in controllo.
- **Procedura di interrogatorio:** all'interrogato vengono poste una serie di domande su fatti accaduti di cui si è stati testimoni, conoscenze pregresse, stati emotivi e in generale qualsiasi elemento concernente le memorie dell'interrogato. Conseguentemente, come puntualizza Gudjonsson (2002), lo stato della memoria dell'interrogato è fondamentale e qualsiasi cosa possa influenzarla è un elemento che può o meno concorrere all'opera di suggestionabilità.

- **Stimolo suggestivo:** domande suggestive, come sopra descritte, possono distorcere le risposte del soggetto sia a causa della loro forma che del loro contenuto.
- **Accettazione dello stimolo:** la suggestione si verifica quando il soggetto accetta lo stimolo suggestivo, anche senza ritenerlo pienamente credibile, purché lo consideri veritiero o quantomeno plausibile.
- **Risposta comportamentale:** alle domande dell'interrogante il soggetto risponde esplicitamente indicando la risposta che gli è stata, volontariamente o meno, suggerita.

1.2.1 Il modello teorico di Gudjonsson-Clark

Sulla base di questa definizione si sviluppa il modello teorico di Gudjonsson-Clark (1986). Esso integra domande suggestive e feedback negativo, e pone l'accento sull'interazione tra le disposizioni interne al soggetto e la sua interazione con l'ambiente sociale. Il contesto che facilita la presenza di suggestionabilità è caratterizzato da elementi fondamentali quali l'*incertezza*, l'*aspettativa* e la *fiducia interpersonale*. Inoltre, durante l'interrogatorio il soggetto può assumere uno stile di risposta definito *suggestionabile* o *resistente* (Gudjonsson, 2002). L'*incertezza* riguarda il dubbio del soggetto in merito alle risposte da dare: può essere dovuto a una mancata conoscenza precisa del fatto o alla perdita o distorsione del contenuto mnestico. Il soggetto può quindi sentirsi in dovere di rispondere come sembra suggerito dalle domande suggestive dell'intervistatore (e quindi risultare *compiante*), ma solo quando ritiene corretta o effettivamente plausibile la risposta data egli si può dire suggestionabile. La *fiducia interpersonale* esemplifica lo stato del rapporto tra intervistatore e intervistato. L'intervistato può fidarsi delle intenzioni e delle parole dell'intervistatore e quindi adottare uno stile di risposta *suggestionabile*; oppure, può essere diffidente e quindi adottare uno stile più *resistente*. La fiducia interpersonale e l'incertezza sono legate: una minore incertezza sul recupero dei fatti può influenzare la percezione delle domande suggestive dell'intervistatore. Con *aspettativa* ci si riferisce all'obbligo percepito dell'intervistato a rispondere come persona informata sui fatti, a cui non è permesso rispondere in modo dubitativo e riconoscere la propria mancanza di conoscenza o ricordo dei fatti. All'interno del modello acquisisce particolare rilevanza il feedback, specialmente il feedback negativo, che è stato mostrato avere effetti sulla quantità di cambi di risposta e aumenta la suscettibilità a cadere ad ulteriori domande

suggestive (Gudjonsson, 1984a, 1984b). Come afferma e riporta Gudjonsson stesso (2002), le implicazioni del modello sono molteplici:

- La suggestionabilità interrogativa è una tipologia di suggestionabilità diversa dalle altre, slegata dal concetto di suggestionabilità primaria e solo debolmente con quello di suggestionabilità secondaria.
- Giocano un ruolo predominante sia le disposizioni individuali stabili dell'individuo sia il contesto relazionale in cui l'opera di suggestionabilità ha luogo.
- Tre componenti fondamentali sono l'incertezza, l'aspettativa e la fiducia interpersonale, come descritte sopra.
- Gli intervistati che adottano uno stile cognitivo di risposta resistente e sospettoso sono meno suggestionabili.
- Le strategie di coping utilizzate dagli intervistati influenzano la suggestionabilità: l'evitamento può portare all'accettazione passiva delle suggestioni, mentre l'allerta attiva e l'analisi critica ostacolano la suggestione.
- Sono maggiormente suggestionabili gli individui con una minore capacità mnemonica e un minore quoziente intellettuale.
- La suggestionabilità è anche influenzata da fattori legati alla personalità quali bassa autostima, bassa assertività, propensione all'ansia, paura di essere valutati negativamente.
- Il feedback negativo può aumentare la probabilità di suggestione.

1.2.2 Fattori legati alla suggestionabilità interrogativa

La letteratura scientifica ha individuato numerosi fattori cognitivi, sociali e ambientali che influenzano la suggestionabilità, spesso in accordo con le previsioni del modello di Gudjonsson-Clark (1986):

- Età: l'età ha un ruolo nel determinare il livello di suggestionabilità interrogativa; bambini più piccoli e anziani sono maggiormente suggestionabili rispetto ai giovani adulti o agli adulti di mezza età (Richardson et al., 1995, Polczyk et al., 2004, Vagni et al., 2025).
- Memoria: capacità di memoria e suggestionabilità risultano essere inversamente correlate. Una minore capacità di memoria si accompagna a un'aumentata

suggestionabilità. Questo legame fa leva sulla componente di incertezza che caratterizza chi sa di non avere un buon ricordo dei fatti appresi (Gudjonsson & Clare, 1995; Biondi et al., 2020; Polczyk et al., 2024a). Particolarmente rilevante per questo lavoro è il fatto che punteggi di Richiamo immediato e differito alle due versioni della GSS (vedi *Gudjonsson Suggestibility Scale*; Gudjonsson, 1984a) si riducono notevolmente con l'aumentare dell'età (Sigurdsson et al., 1994), il che può aumentare la vulnerabilità alle domande suggestive negli individui anziani.

- Quoziente Intellettivo: esiste una correlazione negativa anche tra livello di intelligenza come misurato dal Quoziente Intellettivo e suggestionabilità (Gudjonsson, 1988b, Polczyk et al., 2024a). Persone con un livello intellettivo ridotto hanno meno risorse cognitive per fronteggiare con una strategia analitica la situazione di interrogatorio. Sebbene intelligenza e memoria siano tra loro legate, entrambe sembrano contribuire indipendentemente l'una dall'altra al costrutto di suggestionabilità (Sharrock & Gudjonsson, 1993).
- Autostima: una bassa autostima comporta la percezione di sé quale persona incompetente e abbassa la fiducia nelle proprie capacità, il che di converso è correlato ad un'aumentata tendenza del soggetto ad accettare gli stimoli suggestivi dell'intervistatore (Gudjonsson & Singh, 1984). Studi recenti hanno tuttavia messo in crisi tale correlazione, e suggeriscono che la relazione tra i due costrutti possa essere più complessa (Douglass et al., 2019).
- Ansia: l'aumentata attività fisiologica del sistema nervoso autonomo e preoccupazione dovute all'ansia influenzano la suggestionabilità (Gudjonsson, 1983). Esiste una correlazione più forte tra suggestionabilità e ansia di stato (quindi ansia transitoria dovuta alle caratteristiche della condizione presente) che tra suggestionabilità e ansia di tratto (caratteristica più stabile della persona in quanto tale) (Gudjonsson, 1988a; Wong et al., 2024). Nello specifico, risulta che l'ansia di stato influenzi maggiormente i punteggi Accettazione 2 e Cambio, piuttosto che i punteggi Accettazione 1 (cfr. cap 1.2.3) (Gudjonsson, 1984a).
- Strategie di coping: uno studio di Gudjonsson (1988a) ha accertato quali strategie di coping fossero più o meno collegate con la suscettibilità ad essere suggestionabili. L'autore individuò tre categorie di strategie che fanno uso di

metodi differenti: metodi attivi-cognitivi, metodi attivi-comportamentali ed evitamento (Moos & Billings, 1982). I primi due metodi aumentano la capacità di ragionamento critico e quindi sono correlati negativamente con la suggestionabilità; l'evitamento, invece, è associato ad alta suggestionabilità, poiché spinge l'intervistato a evitare un approccio critico e a rispondere passivamente alle suggestioni dell'intervistatore.

- Impulsività: uno stile di risposta impulsivo correla positivamente con una tendenza a cedere alle domande suggestive, specialmente la tendenza a cambiare risposta dopo aver ricevuto feedback negativo. (Gudjonsson, 1984c).
- Assertività: un carattere assertivo correla negativamente con la suscettibilità ad essere suggestionabili, per motivi affini a quelli spiegati riguardo l'autostima e il coping evitante (Gudjonsson, 1988a).
- Sonno: la privazione di sonno riduce significativamente le prestazioni ai test di suggestionabilità (Blagrove, 1996; Kassin et al., 2018), poiché inficia le capacità cognitive generali dell'individuo, tra cui la memoria.
- Desiderabilità sociale: la suggestionabilità risulta correlata, seppur debolmente, con la desiderabilità sociale come misurata dalla scala Crowne-Marlowe (Crowne & Marlowe, 1960) e la scala EPQ (Eysenck & Eysenck, 1975). La desiderabilità sociale è definita dai tentativi di acquisire una posizione favorevole nell'ambiente sociale. Recentemente tale associazione è stata riportata anche nella popolazione anziana (Biondi et al., 2020).
- Manipolazione delle istruzioni: come previsto dal modello, la suggestionabilità risulta essere influenzata dalla tipologia di istruzioni che vengono date all'interrogato prima dell'inizio delle domande. In particolare, manipolando la componente di aspettativa del modello si modifica significativamente la suggestionabilità: richiedere all'interrogato di ricordare tutto con precisione correla positivamente con i punteggi ai test di suggestionabilità, mentre avviene il contrario se viene data la possibilità di non dare una risposta definitiva a tutte le domande (Gudjonsson & Hilton, 1989; Hänsdottir et al., 1990). Anche avvertire preventivamente il soggetto che alcune domande possano essere fuorvianti diminuisce significativamente la suggestionabilità (Baxter & Boon, 2000).

- Stile di attribuzione: con stile di attribuzione si intende la percezione che ha l'individuo dell'origine dei propri successi e insuccessi. Lo stile di attribuzione si può suddividere sulla base del *locus of control* (letteralmente “luogo di controllo”), ossia della percezione di controllo su di sé e sull'ambiente della persona. Individui con locus of control esterno si concentrano soprattutto sull'influenza che hanno sulle proprie capacità e sugli avvenimenti della propria vita l'ambiente e fattori fuori dal proprio controllo diretto. Mentre, individui con locus of control interno ritengono di mantenere il controllo su ciò che gli succede e di essere i principali artefici dei propri successi e insuccessi. Alti livelli di suggestionabilità caratterizzano, come da previsione, persone con locus of control esterno, mentre persone con locus of control interno sono maggiormente resistenti alla suggestione (Liebman et al., 2002).

1.2.3 La Gudjonsson Suggestibility Scale 2

La prima scala di assessment della suggestionabilità interrogativa di uso diffuso è la *Gudjonsson Suggestibility Scale* (Gudjonsson, 1984a). È stata sviluppata da Gisli H. Gudjonsson perché seguisse il modello di Gudjonsson-Clark (1986), in cui assumono rilievo le domande suggestive e il feedback negativo, e perché fosse facilmente applicabile in ambito forense. La scala prevede la lettura ad alta voce del partecipante di un breve racconto di una rapina. Successivamente, quest'ultimo deve poi ripetere (richiamo immediato) tutto ciò che si ricorda appena conclusa la lettura. Dopo un intervallo di tempo di circa 50 minuti avviene il richiamo differito del racconto, che è seguito subito dopo da una serie di 20 domande a risposta dicotomica sì/no. Di queste, 5 sono domande “normali”, in linea con il contenuto del racconto; mentre, 15 sono domande suggestive. Esse sono presentate due volte, e possono chiedere di richiamare informazioni distorte o non presenti nel racconto originale. Successivamente alla prima serie di domande, segue il feedback negativo: viene riferito al soggetto, con fermezza, di aver compiuto degli errori, che è quindi necessario ripetere le domande e di essere più precisi della volta precedente. È bene sottolineare, che il feedback negativo è presentato anche in assenza effettiva di imprecisioni da parte del partecipante. Alla fine della seconda serie di risposte si rivela al partecipante di aver dovuto “mentire” sulle sue prestazioni ai fini della corretta somministrazione della scala. La versione della GSS di interesse per questo

lavoro è la GSS-2 (Gudjonsson, 1987), la quale presenta la stessa struttura della prima versione, ma fa utilizzo di un racconto di stampo non criminale.

La GSS (così come la GSS-2) permette il calcolo di più punteggi che vanno a misurare diversi aspetti della memoria e della suggestionabilità:

- **Richiamo libero immediato:** il racconto è suddiviso in 40 elementi nucleari, il punteggio può variare da 0 a 40 sulla base del numero di elementi riportati appena dopo la lettura.
- **Richiamo libero differito:** anche in questo caso il punteggio varia da 0 a 40 sulla base degli elementi ricordati dopo circa 50 minuti dalla presentazione del racconto.
- **Distorsioni:** indica cambiamenti importanti nei dettagli dell'elemento nucleare richiamato.
- **Invenzioni:** indica elementi di novità non presenti nel racconto originale aggiunti dal soggetto durante il richiamo
- **Confabulazione:** è un punteggio composito, calcolato dalla somma dei punteggi Distorsioni e Invenzioni. I punteggi di Distorsioni, Invenzioni e quindi Confabulazione sono calcolabili sia per il Richiamo libero immediato che per il Richiamo libero differito.
- **Accettazione 1:** punteggio che si riferisce al numero di domande suggestive (massimo 15) a cui cede il soggetto durante la prima serie di domande.
- **Accettazione 2:** punteggio che si riferisce al numero di domande suggestive a cui il soggetto cede alla seconda tornata di domande, dopo aver ricevuto il feedback negativo.
- **Cambio:** punteggio che indica il numero di volte in cui la risposta dal soggetto alle domande è cambiata da prima a dopo aver ricevuto il feedback negativo (massimo 20 punti).
- **Suggestionabilità totale:** indica il livello totale di suggestionabilità, dato dalla somma dei punteggi Accettazione 1 e Cambio, per un massimo di 35 punti.

La validità inter-rater (ossia tra intervistatori) dei punteggi Accettazione e Cambio e dei punteggi Accettazione e Suggestionabilità totale è molto alta (il coefficiente di correlazione r di *Pearson* varia tra 0.95 e 0.99, Richardson & Smith, 1993), così come la

validità inter-rater tra Cambio e Suggestionabilità totale ($r \cong 0.9$, Clare et al., 1994). Tuttavia, i punteggi di Accettazione 1 e di Cambio esemplificano due differenti aspetti della suggestionabilità. Un'analisi fattoriale condotta da Gudjonsson (1992) ha dimostrato che il costrutto di suggestionabilità è spiegato da due soli fattori, e che i punteggi di Accettazione 1 e Cambio saturano ognuno su un fattore differente: Accettazione 1 quantifica la misura in cui i partecipanti cedono alle domande suggestive ed è maggiormente legato al funzionamento cognitivo ed alla memoria, mentre il punteggio Cambio indica la modalità di risposta alla pressione interrogativa ed è maggiormente influenzato dalle dinamiche interpersonali (Gudjonsson, 1992; Scullin & Ceci, 2001).

La scala è stata usata sia sulla popolazione infantile (Warren et al., 1991) che, seppur più recentemente, sulla popolazione sopra i 65 anni (Polczyk et al., 2004). I principali studi compiuti sulla popolazione over 65 (Polczyk et al., 2004; Mueller-Johnson & Ceci, 2004; Dukala & Polczyk, 2013; Biondi et al., 2020) concordano nel ritenere che gli anziani siano maggiormente suggestionabili rispetto alla popolazione adulta generale di età inferiore ai 65 anni. Gli anziani ottengono punteggi inferiori nelle misure mnemoniche (Richiamo libero immediato e differito) e maggiori nelle misure di suggestionabilità (Accettazione, Cambio, Confabulazione e Suggestionabilità totale) (Polczyk et al., 2004; Mueller-Johnson & Ceci, 2004; Biondi et al., 2020). Inoltre, sono maggiormente suggestionabili se l'intervistatore adotta un atteggiamento brusco e severo piuttosto che uno neutrale (Dukala & Polczyk, 2013). La versione italiana della scala utilizzata nell'esperimento qui presentato (cfr. cap. 4) è quella di Bianco e Curci (2015).

1.2.4 L'approccio sperimentale alla suggestionabilità interrogativa

Altre prospettive riguardo alla suggestionabilità interrogativa comprendono il cosiddetto approccio sperimentale (Gudjonsson, 2002). Powers, Andriks e Loftus (1979) pongono l'accento sui fattori situazionali e ambientali che possono essere manipolati sperimentalmente, allontanandosi dall'approccio alla suggestionabilità che la considera in parte un tratto della personalità dell'individuo (Ridley et al., 2013). Descrivono la suggestionabilità come “la misura in cui [le persone] arrivano ad accettare un frammento di informazione post-evento e a incorporarlo nella propria rievocazione” (tradotto da Powers et al., 1979, p. 339). Nel loro studio seminale, Loftus e colleghi (1978) hanno

dimostrato che la memoria di eventi a cui si era assistito poteva essere modificata quando la persona veniva esposta ad informazioni fuorvianti posteriormente all'evento. Questo fenomeno è stato denominato effetto di disinformazione, o *misinformation effect*: se un testimone entra in contatto con informazioni scorrette riguardo all'evento a cui ha assistito, la sua memoria del fatto può esserne influenzata e al momento della rievocazione egli può incorporare tali elementi fuorvianti nella sua testimonianza (Ayers & Reder, 1998). Questo processo può avvenire in maniera incidentale e non necessariamente all'interno di un ambiente di interrogatorio chiuso e pressante (Loftus et al., 1978) (cfr. cap. 1.2.1). L'idea iniziale di Loftus era che al momento dell'introduzione dell'informazione nuova questa agisse sovrascrivendosi al ricordo originale eliminandone la traccia in memoria (Loftus et al., 1978). McCloskey e Zaragoza (1985) introdussero come spiegazione ulteriore l'ipotesi degli effetti strategici, secondo la quale la modificazione del ricordo avveniva o per una mancanza di ricordi o per la tendenza dei soggetti a conformarsi alle richieste del compito cercando di assecondare l'interrogante. Lindsay e Johnson (1989) attribuiscono il fenomeno a un fallimento dei processi di attribuzione della fonte, o *source monitoring*. I testimoni integrano gli elementi post-evento nella propria testimonianza perché falliscono nel determinare l'origine esatta dell'informazione, che percepiscono come familiare (Lindsay & Johnson, 1989), soprattutto se riguardante caratteristiche periferiche dell'evento (Johnson et al., 1993).

In uno studio di Roediger e Geraci (2007) il gruppo degli anziani (età media 75 anni) è risultato mediamente più vulnerabile rispetto al gruppo di giovani (età media 24 anni) al *misinformation effect*, non a causa di un'incapacità di codifica in memoria dell'informazione originale quanto a causa di una difficoltà di monitoraggio della sorgente al momento del recupero. La popolazione anziana è soggetta in modo consistente a deficit di *source monitoring* (Wylie et al., 2014), che dal punto di vista biologico sono legati al declino della funzionalità delle cortecce prefrontali tipico dell'invecchiamento sano (Wylie et al., 2014). Questi elementi di difficoltà, uniti ad una maggiore fallibilità a livello mnesico (Sigurdsson et al., 1994) contribuiscono a rendere l'anziano più vulnerabile alle domande suggestive ed aumentano il rischio che in fase di interrogatorio questi risulti suggestionabile (Vagni et al., 2025).

1.2.5 Suggestionabilità interrogativa in ambito forense

La suggestionabilità interrogativa trova la sua collocazione nell'ambito forense e giudiziario. Gli elementi descritti da Gudjonsson e Clark (1986) che fanno da base al loro modello sono direttamente riscontrabili nelle situazioni classiche di interrogatorio, sia con i testimoni che con gli eventuali sospettati (e in genere chiunque sia interrogato come persona informata sui fatti) (Gudjonsson, 2002). La suggestionabilità è infatti un elemento che influenza negativamente i resoconti testimoniali (Sartori, 2021). Non è raro che il soggetto senta di dover rispondere in un determinato modo alle domande degli ufficiali giudiziari, i quali sono percepiti come figure di autorità delle quali ci si può fidare. Inoltre, questi ultimi possono applicare una certa pressione sull'interrogato in modo che il soggetto non menta o nasconda informazioni importanti per l'indagine. Questo genere di situazioni può indurre nell'interrogato ansia, aspettative di successo e paura di deludere, il quale rischia di cedere ad eventuali domande suggestive poste anche in buona fede (Leo, 2008; Kassin et al., 2010). Gli effetti di una pratica fallace in fase di indagine sono attuali e spesso disastrosi: secondo una ricerca longitudinale dell'Innocence Project su 365 casi di condanna definitiva poi ribaltata da prove oggettive (quali prove del DNA), risulta che il 72% dei verdetti di colpevolezza era dovuto almeno in parte a falsi riconoscimenti e ben il 25% a false confessioni in fase di interrogatorio (West & Meterko, 2015). È lecito ipotizzare che tra i molteplici elementi che possono influenzare un falso riconoscimento o una falsa confessione ci sia anche la suggestionabilità dei soggetti in fase di interrogatorio. Questo sembra frequente soprattutto nel caso di soggetti vulnerabili; infatti, ben il 30% di coloro che avevano falsamente confessato avevano meno di 18 anni (West & Meterko, 2015). Ciò è plausibile accada specialmente laddove sussistano i fattori elencati precedentemente (Gudjonsson, 2002). La popolazione anziana è una popolazione a maggior rischio di suggestionabilità, a causa della minor qualità media della memoria, della maggiore fragilità, della maggiore tendenza a conformarsi alle regole sociali (Biondi et al., 2020; Polczyk et al., 2024a). Sulla base di queste considerazioni, durante la conduzione di un interrogatorio, è da ritenersi di notevole importanza porre attenzione ai profili di suggestionabilità, specialmente quando si ha a che fare con popolazioni vulnerabili inserite in determinate condizioni ambientali.

Al fine di migliorare l'attendibilità dei resoconti testimoniali in fase di interrogatorio è stata sviluppata negli anni '80 da Geiselman (1984) una metodologia di intervista detta Intervista Cognitiva (*Cognitive Interview*). Comprende una serie di tecniche utili a facilitare il recupero della memoria e la comunicazione, in modo da ridurre al minimo errori di forma e di contesto. La versione originale si basa su quattro tecniche principali (Memon & Higham, 1999):

- **Ricostruzione del contesto:** l'intervistato viene incoraggiato a ricostruire mentalmente il contesto fisico e personale esistente al momento dell'evento, attraverso l'utilizzo dell'immaginazione mentale. Viene chiesto al testimone di descrivere non solo i fatti vissuti ma anche le sensazioni fisiche e le proprie reazioni emotive all'ambiente.
- **Rievocazione completa:** viene chiesto al testimone di riferire qualsiasi cosa venga loro in mente, senza filtrare od escludere nulla, anche se considerato irrilevante.
- **Cambio di prospettiva:** il testimone è incoraggiato a ricostruire l'evento cambiando prospettiva, immedesimandosi in un'altra persona presente e provando a immaginare a cosa potrebbe aver assistito.
- **Cambio dell'ordine temporale:** si istruisce il testimone a rievocare gli eventi partendo da punti temporali diversi, come rievocare a partire dalla porzione centrale, o partendo dalla fine e arrivando all'inizio.

Successivamente sono state sviluppate versioni ulteriori dell'intervista, come la versione potenziata (*Enhanced Cognitive Interview*, ECI) (Fisher & Geiselman, 1992), che combina le quattro tecniche con specifiche strategie atte a gestire l'interazione sociale e migliorare la comunicazione, e la versione modificata (*Modified Cognitive Interview*, MCI) (Davis et al., 2004), la quale omette i passaggi di cambio di prospettiva e cambio di ordine temporale poiché ritenuti difficili da applicare per gli agenti di polizia (Colomb et al., 2013). Ciò si realizza attraverso l'utilizzo di domande aperte che richiedono risposte elaborate, durante le quali si evita di interrompere il testimone. L'utilizzo dell'Intervista Cognitiva, sia nella sua versione originale che nella versione modificata, migliora l'attendibilità testimoniale aumentando la quantità di dettagli dell'evento riportati correttamente (Fisher & Castano, 2008; Memon et al., 2010). Gli effetti positivi

dell'intervista cognitiva si estendono alla popolazione anziana. L'Intervista Cognitiva, in tutte le sue versioni, migliora il numero di informazioni corrette rievocate (Wright & Holliday, 2006), appiana le differenze tra l'attendibilità delle testimonianze tra anziani e giovani adulti (Mello & Fisher, 1996) ed è particolarmente efficace sugli anziani con deterioramento cognitivo (Wright & Holliday, 2007).

L'Intervista Cognitiva è stata integrata all'interno del modello PEACE (*Planning, Engaging, Account, Closure and Evaluation*), un protocollo adottato a partire dal 1992 dalle forze di polizia inglesi focalizzato sull'acquisizione di informazioni complete ed accurate (Clarke et al., 2011). Il modello prevede l'applicazione della strategia dell'Intervista Cognitiva in congiunzione con il *Conversation Management* (gestione della conversazione), approccio strutturato che punta a massimizzare la divulgazione spontanea di informazioni da parte dell'interrogato (Shepherd & Griffiths, 2021). Viene incentivato il resoconto libero, privo di interruzioni, e solo successivamente si passa a una fase di chiarimento ed esplorazione dei fatti rimasti oscuri. Infine, è possibile procedere con la contestazione del resoconto sulla base delle prove già in possesso. L'utilizzo di domande suggestive o allusive è ridotto al minimo possibile. L'approccio prende inoltre in considerazione le resistenze psicologiche del testimone e cerca di creare un ambiente neutro e non pressante per aggirarle. Le informazioni ottenute durante un interrogatorio attraverso il modello PEACE risultano più robuste in sede legale (Clarke et al., 2011) e maggiormente affidabili (Meissner et al., 2012). Inoltre, l'utilizzo del modello PEACE riduce il numero di false confessioni (Meissner et al., 2012). Tuttavia, l'applicazione pratica del modello richiede un'intensa fase di preparazione con gran dispendio di tempo, e senza una formazione costante gli agenti tendono a perdere l'efficacia metodologica acquisita e riprendono abitudini di indagine meno rigorose (Griffiths & Milne, 2013).

1.3 Utilizzo di misure psicofisiologiche in ambito forense

La GSS e la GSS-2 si propongono come strumento nella pratica forense per valutare il profilo di suggestionabilità (Kassin, 1997). Grazie ai progressi nelle conoscenze di psicologia e neurofisiologia, oggi è possibile interrogarsi sulla possibilità di caratterizzare il profilo di suggestionabilità di un individuo a partire dalle sue caratteristiche neurofisiologiche. È su questa domanda che questo lavoro e la tesi che lo ha preceduto (Talin, 2025) tentano di far luce. L'uso di parametri fisiologici nel contesto forense è una

prassi consolidata da tempo. Ad esempio, il poligrafo, anche detto "macchina della verità", è un noto strumento che si propone di analizzare la risposta galvanica della pelle (GSR) per identificare la presenza di menzogne (Larson, 1922). Altri esempi meno noti sono l'utilizzo di termografia a infrarossi per rilevare situazioni di stress (Pavlidis et al., 2002) o la pletismografia agli organi genitali per valutare i profili di interesse sessuale deviante (Clift et al., 2009). La scarsa affidabilità di alcuni di questi metodi negli anni ha sollevato molte critiche circa il loro utilizzo (Iacono & Ben-Shakhar, 2019). Difatti il poligrafo è generalmente inammissibile come fonte di prova nei tribunali europei e statunitensi (Iacono & Ben-Shakhar, 2019). Questo non deve tuttavia scoraggiare la ricerca di misure, che seppur in maniera approssimata, possano fornire una caratterizzazione del soggetto interessato, al di là della sola osservazione comportamentale o il testing psicologico.

L'elettroencefalografia è sempre più presa in considerazione come metodo per studiare popolazioni forensi o ambiti di rilevanza per il mondo giudiziario, quali il *lie-detection* (Farwell & Donchin, 1991; Gao et al., 2022), l'implementazione di un identificativo biologico unico per la persona (come è l'impronta digitale) (Farwell, 2012), le origini del comportamento criminale (Talevska & Talevska, 2021). Anche la pupillometria ha trovato applicazione in studi sull'individuazione delle menzogne (Cook et al., 2024), sulla reattività in criminali antisociali (Gillespie et al., 2019), nella simulazione di impairment (Plummer, 2022). La complessità dell'intersezione tra scienza e sistema legislativo rende difficile traslare nella pratica forense le evidenze emerse dalla ricerca. Tale applicazione incontra infatti problematiche e ostacoli di natura metodologica, etica e giuridica che esulano dagli obiettivi del presente lavoro (vedi Garland, 2004; Stocchi, 2025). Tra questi rientra il problema della validità esterna, ossia del generalizzare i risultati ottenuti in laboratorio in contesti ecologici; oppure la necessità di rispettare la privacy "mentale" e di implementare i cosiddetti neurodiritti, diritti a protezione della propria coscienza individuale (Ienca & Andorno, 2017).

L'utilizzo di EEG e pupillometria per stimare la suggestionabilità interrogativa di un soggetto presenta sia vantaggi che svantaggi. Un importante vantaggio consiste nella possibilità di ridurre la soggettività insita nel colloquio clinico tradizionale. Inoltre, gli strumenti psicodiagnostici, come la Gudjonsson Suggestibility Scale (GSS), pur essendo standardizzati, risentono maggiormente delle caratteristiche del setting e

dell'intervistatore rispetto alle misurazioni fisiologiche (Gudjonsson, 2002; Calvo & D'Mello, 2010). Altro vantaggio offerto dall'utilizzo di misure fisiologiche è la possibilità di contrastare eventuali "contromisure" messe in atto dal soggetto per falsare i risultati dei test. Poggiando le basi su fenomeni non controllabili, EEG e pupillometria forniscono un metodo di analisi su cui il soggetto non ha alcun potere d'azione e che non può volgere nella direzione che desidera, problema particolarmente diffuso nell'utilizzo di scale psicodiagnostiche in ambito forense (Rogers & Bender, 2020). Tuttavia, i limiti riguardano la natura stessa dell'elettroencefalogramma, che non può essere equiparato, in termini di precisione e accuratezza, a metodiche quali l'impronta digitale o l'analisi del DNA, e considerazioni analoghe valgono anche per la pupillometria; EEG e pupillometria sono infatti intrinsecamente mutevoli e influenzabili da un grosso numero di fattori che ne riducono notevolmente l'affidabilità (Chen et al., 2023; Wilcoxson et al., 2024). In aggiunta, a differenza delle misure forensi riconosciute e ritenute oggettive, EEG e pupilla subiscono delle modificazioni con l'avanzare dell'età (cfr. cap. 2.3) e sono influenzate da condizioni temporanee quali la stanchezza, lo stato emotivo e la salute della persona al momento della registrazione (Klimesch, 1999; Chen et al., 2023). Un altro svantaggio è la minore praticità rispetto alle misure cartacee classiche, e la maggiore dispendiosità sia in termini di tempo che di denaro: il sistema 128 canali usato in questo lavoro richiede almeno 15-20 minuti solo per il montaggio della cuffia, e i costi per un'attrezzatura di buon livello possono variare dai 15 000 \$ ai 40 000 \$, e raggiungono cifre anche di 150 000 \$ per le configurazioni più avanzate (Biology Insights, 2025). Sono tuttavia presenti sul mercato strumentazioni EEG con software open-source più pratici ed abbordabili economicamente, ma che risentono di una ridotta risoluzione e una ridotta qualità complessiva delle registrazioni (Sabio et al., 2024). In conclusione, sebbene si sia ancora lontani dall'implementazione, nella pratica forense quotidiana, di misure fisiologiche finalizzate all'inquadramento delle caratteristiche psicologiche dell'individuo, il progresso della ricerca, il miglioramento dell'affidabilità delle misure e la crescente praticità delle strumentazioni aprono alla possibilità di inferire il livello di suggestionabilità interrogativa di un testimone o di un sospettato attraverso l'impiego di EEG.

CAPITOLO 2. ELETTROENCEFALOGRAFIA E PUPILLOMETRIA

Come introdotto nei capitoli precedenti, oltre ai metodi psicodiagnostici tradizionali, la ricerca psicologica ha da lungo tempo introdotto l'uso di metodi neurofisiologici per indagare lo stato del sistema cognitivo. Attraverso l'impiego, in contesti sperimentali, di strumenti che misurano direttamente l'attività del sistema nervoso, come l'elettroencefalografia, o che ne forniscono una stima indiretta, come i misuratori di conduttanza cutanea, è possibile formulare inferenze sul funzionamento dell'individuo e sul ruolo svolto dal sistema nervoso nei fenomeni psicologici. Utilizzare indici neurofisiologici per studiare la suggestionabilità interrogativa è una frontiera promettente, seppur con i suoi svantaggi (cfr. cap. 1.3). Di seguito vengono dunque approfonditi i metodi dell'elettroencefalografia, con un focus sul ruolo della potenza delle bande spettrali, e dell'eye-tracking, con un focus sulla pupillometria.

2.1 Elettroencefalografia

L'elettroencefalografia (EEG) è una tecnica di registrazione dei segnali elettrici cerebrali con applicazioni sia in ambito clinico che sperimentale. Deve le sue origini ai pionieristici lavori di Hans Berger (1929). Nel corso del tempo questa tecnica di misurazione si è affinata; infatti, ad oggi esiste un gran numero di metodologie diverse di registrazione EEG (per una rassegna vedi Biasiucci et al., 2019). Qualunque sia la metodologia utilizzata, l'elettroencefalografia si basa sui fenomeni di eccitazione post sinaptica a livello dei neuroni piramidali, presenti in particolare quantità nel quarto e quinto strato della corteccia cerebrale (strati piramidale interno ed esterno). I potenziali d'azione, che viaggiano lungo gli assoni dei neuroni, permettono la trasmissione tra neuroni differenti inducendo il rilascio di vescicole presinaptiche nella chiave sinaptica, producendo un potenziale postsinaptico nei neuroni bersaglio. Quando più neuroni sono allineati tra loro i potenziali si sommano, e se l'assemblea neuronale è allineata perpendicolarmente alla superficie corticale (come i sopracitati neuroni piramidali) tale somma di potenziali diventa registrabile attraverso un sistema di elettrodi posti sullo scalpo (Sanei & Chambers, 2013). I sistemi EEG classici fanno uso di una cuffia su cui vengono posizionati gli elettrodi, in numero variabile. La registrazione viene effettuata paragonando l'attività di un elettrodo di riferimento (*reference* o REF), con quella degli altri elettrodi. Inoltre, è presente anche un elettrodo chiamato *ground* (GND), che si trova in una posizione elettricamente neutra e serve da riferimento per la cancellazione del

rumore comune a tutti gli elettrodi. Gli elettrodi sono connessi ad un amplificatore, volto ad amplificare il segnale registrato ed a filtrarlo per aumentare il rapporto segnale-rumore. Successivamente, una scheda di conversione analogico/digitale trasforma il segnale analogico in un segnale digitale, che può essere così ulteriormente elaborato attraverso sistemi software specifici ed infine analizzato (Sanei & Chambers, 2013). L'attività elettrica spontanea dei neuroni corticali così registrata è caratterizzata da un ritmo oscillatorio periodico, che può essere scomposto in diverse bande a seconda della loro frequenza di oscillazione:

- Delta, < 4 Hz
- Theta, 4-8 Hz
- Alfa, 8-13 Hz
- Beta, 13-30 Hz
- Gamma, > 30 Hz

Ognuna di queste bande endogene ha un diverso significato funzionale. La banda gamma ha ampiezze particolarmente ridotte rispetto alle altre bande ($< 5-10 \mu\text{V}$) ed è stata correlata a processi cognitivi di alto livello e a meccanismi di unione delle caratteristiche percettive di uno stimolo in un unico percolato coerente (meccanismo del *feature binding*) (Van Kerkoerle et al., 2014; Schomer & Da Silva, 2012). La banda beta ha un voltaggio di circa $30 \mu\text{V}$ ed è la frequenza osservata tipicamente durante le fasi di veglia attiva e durante lo svolgimento di compiti (Schomer & Da Silva, 2012). La banda delta è la banda più lenta, dall'ampiezza variabile di $15-20 \mu\text{V}$ in veglia e fino a $100-200 \mu\text{V}$ durante il sonno profondo. È primariamente associata al sonno ad onde lente ed a processi di recupero omeostatico dell'organismo (Schomer & Da Silva, 2012). Di particolare interesse nella presente trattazione sono la banda alfa e beta. La banda alfa presenta un'ampiezza generalmente inferiore ai $50 \mu\text{V}$ ed è localizzata soprattutto nelle corteccie posteriori. Rappresenta uno stato di inibizione attiva e di gating sensoriale, ossia tende ad aumentare per sopprimere attivamente informazioni non desiderate mentre diminuisce durante il processamento di informazioni (vedi sotto) (Klimesch, 1999; Schomer & Da Silva, 2012). La banda theta ha ampiezze variabili da $15 \mu\text{V}$ in stato di veglia a $50-75 \mu\text{V}$ in stato di sonno. Include due varianti, una diffusa indicativa di bassi livelli di allerta e di

sonnolenza e una localizzata soprattutto in area limbica, indicativa di attenzione, memoria e processamento attivo delle informazioni (Klimesch, 1999; Schomer & Da Silva, 2012).

L'attività elettrica cerebrale può essere misurata durante lo svolgimento di compiti oppure in stato di riposo, il cosiddetto *resting state*. In questa condizione viene chiesto al partecipante di rimanere sveglio senza compiere attività alcuna, con gli occhi chiusi oppure con gli occhi aperti; in quest'ultimo caso è possibile chiedere al partecipante di fissare un riferimento fisso su uno schermo, o di muovere liberamente lo sguardo all'interno dello schermo (colorato neutro), soprattutto quando presenti contemporanee misurazioni dei movimenti oculari (Grandchamp et al., 2014). In condizione di *resting state* l'attività elettrica presente è detta spontanea o endogena, poiché non è influenzata da stimoli esterni (Barry et al., 2007). L'attività spontanea è ampiamente usata in letteratura come indice del funzionamento del sistema cognitivo e alle diverse bande è stata data un'interpretazione funzionale specifica. In condizioni di *resting state* a occhi chiusi si osserva un aumento della potenza di banda alfa, fenomeno che è stato interpretato come un meccanismo di inibizione top-down detto *gating sensoriale* (Jensen & Mazaheri, 2010). Ciò è indicativo di uno spostamento del focus del sistema cognitivo dall'esterno verso gli stati interni (Schomer & Da Silva, 2012). All'apertura degli occhi, ed in generale durante il *resting state* a occhi aperti, si osserva una desincronizzazione del ritmo alfa e quindi un calo della potenza, in modo che le aree cerebrali siano pronte ad esplorare gli stimoli ambientali ed assorbire l'input sensoriale. La comparsa di attività theta diffusa in fase di *resting state* a occhi chiusi è un marker di calo dell'arousal e transizione verso la sonnolenza (Cantero et al., 2003). Ad occhi aperti può essere indicativa di attenzione focalizzata e calcolo, soprattutto se presente a livello della linea mediana anteriore (la cosiddetta *Frontal Midline Theta*) (Gevins et al., 1997; Schomer & da Silva, 2012). Durante lo svolgimento di task mnestici oscillazioni theta corticali (riscontrabili anche a livello dell'ippocampo) si sincronizzano, soprattutto durante le fasi di codifica e di recupero efficiente degli stimoli; esse sono implicate nel source monitoring, ossia nel mantenimento in memoria della fonte dal quale si sono apprese le informazioni memorizzate (Nyhus & Curran, 2010). Il miglioramento della prestazione a compiti mnestici, dopo un periodo di registrazione EEG in *resting state*, è predetto da un aumento della potenza delle oscillazioni lente e da una riduzione della banda alfa (Brokaw et al., 2016).

2.2 Eye-tracking, movimenti oculari e pupillometria

La misurazione dei movimenti oculari e della pupillometria ha inizio intorno alla fine del diciannovesimo secolo attraverso strumentazioni analogiche e alquanto invasive (Klein & Ettinger, 2019). Il primo sistema di tracciamento oculare non invasivo è stato sviluppato da Dodge e Cline, e prende il nome di Fotocronografo di Dodge (Diefendorf & Dodge, 1908). Esso tramite una particolare tecnologia ottica sfrutta il riflesso corneale per misurare i movimenti oculari (Diefendorf & Dodge, 1908). Il riflesso corneale è dovuto alla riflessione di una sorgente di luce, tipicamente luce infrarossa proiettata dal sistema di tracciamento. Quando una sorgente luminosa viene puntata verso l'occhio si generano quattro riflessi distinti, detti immagini di Purkinje, provenienti dalle superfici anteriori e posteriori sia della cornea che del cristallino (Klein & Ettinger, 2019). La prima immagine di Purkinje è appunto il riflesso corneale (o *glint*), riflesso luminoso ad alta intensità generato sulla superficie esterna della cornea. I movimenti rotazionali dell'occhio modificano la posizione geometrica di questo riflesso rispetto agli altri tre, consentendo agli algoritmi dei computer di calcolare dove il soggetto sta guardando (Klein & Ettinger, 2019). La misurazione dei movimenti della pupilla funge da secondo indicatore, che permette di eliminare gli artefatti dovuti al movimento della testa. Infatti, durante il movimento del capo la distanza relativa tra pupilla e glint non si modifica, mentre nel caso di movimento oculare a testa stabile la distanza relativa e l'orientamento tra il centro della pupilla e il glint cambiano (Klein & Ettinger, 2019). I sistemi di eye-tracking moderni basati su video utilizzano algoritmi di elaborazione delle immagini per identificare rapidamente, all'interno di ogni fotogramma, la posizione precisa di pupilla e il riflesso corneale. A tale scopo, si utilizzano prevalentemente due metodi di tracciamento, uno detto a “pupilla scura” (*dark pupil*) e uno detto a “pupilla chiara” (*bright pupil*). Il primo sfrutta l'illuminazione a infrarossi per far apparire la pupilla come un cerchio scuro, permettendo al software di individuarne costantemente il centro, mentre il secondo si avvale dell'effetto "occhio rosso", generato dalla luce riflessa direttamente dalla retina attraverso la pupilla per renderla più luminosa rispetto al resto dell'occhio e ricavarne sempre il centro (Klein & Ettinger, 2019). A seconda del modello di eye tracker, la registrazione può essere monoculare o binoculare. I sistemi montati sulla testa (*head-mounted*) sono solitamente binoculari per misurare i movimenti di vergenza e stimare la profondità della messa a fuoco, un'informazione che risulta invece meno rilevante nei

sistemi fissi, dove la distanza dallo schermo rimane sempre uguale (Klein & Ettinger, 2019). Sempre grazie all'individuazione della pupilla tramite luce riflessa è possibile definire la variazione di diametro pupillare (Klein & Ettinger, 2019), indicatore oculare di primaria importanza in questo lavoro. L'algoritmo del computer applica una soglia di contrasto per isolare i pixel appartenenti esclusivamente alla pupilla dal resto delle strutture oculari. La pupilla può apparire come un cerchio sferico o più frequentemente come un'ellisse; in quest'ultimo caso il software impiega formule matematiche per adattare un'ellisse geometrica perfetta sul contorno dell'area isolata (Klein & Ettinger, 2019). Infine, il sistema calcola la lunghezza dell'asse maggiore e minore di questa figura e, tramite una calibrazione geometrica preliminare che converte i pixel in millimetri, registra fotogramma per fotogramma le variazioni millimetriche del diametro in base alla frequenza di campionamento dello strumento (Klein & Ettinger, 2019).

Il diametro pupillare in condizioni normali di luminanza è di circa 3 mm, ma può variare da circa 1,5 a 9 mm (Lowenstein & Loewenfeld, 1962). Tale modifica può avvenire sia per cause esterne che per effetto di processi interni. Il riflesso pupillare alla luce (*pupillary light reflex*) è un riflesso involontario per il quale la pupilla si contrae (miosi) in presenza di alta luminanza; mentre, si espande (midriasi) quando la luce è scarsa (Reeves, 1920). Il diametro aumenta anche quando il punto di osservazione si allontana; mentre, diminuisce quando il punto di fissazione si avvicina (Campbell, 1957). La dimensione della pupilla varia anche sulla base dell'attività interna all'organismo, ed è proprio su queste variazioni che si fondano le nostre ipotesi. Il diametro pupillare può essere usato per fare inferenza in merito allo stato di attivazione autonoma del sistema nervoso periferico (Murphy et al., 2011; Tapper et al., 2021) e dell'attività del sistema cognitivo (Piquado et al., 2010). A guidare la contrazione o la dilatazione della pupilla sono rispettivamente lo sfintere pupillare e il dilatatore pupillare, due muscoli dell'iride. Il muscolo sfintere riceve innervazioni da un nucleo del tronco encefalico chiamato nucleo di Edinger-Westphal, o nucleo oculomotore accessorio, appartenente al sistema nervoso parasimpatico, sezione del sistema nervoso autonomo che si occupa degli stati di rilassamento e del mantenimento dell'omeostasi dell'organismo (McDougal & Gamlin, 2015). Il muscolo dilatatore, invece, è controllato da fibre adrenergiche del sistema nervoso simpatico, il cui nucleo pregangliare, il centro ciliospinale di Budge, è situato a livello del midollo spinale (McDougal & Gamlin, 2015). Il sistema nervoso simpatico è

la componente del sistema nervoso autonomo che si occupa dell'aumento dello stato di arousal, della preparazione all'azione e dell'aumentare le capacità di processamento delle informazioni (Goldwater, 1972). L'immagine 1 dà una rappresentazione schematica delle principali innervazioni ai muscoli pupillari qui introdotte.

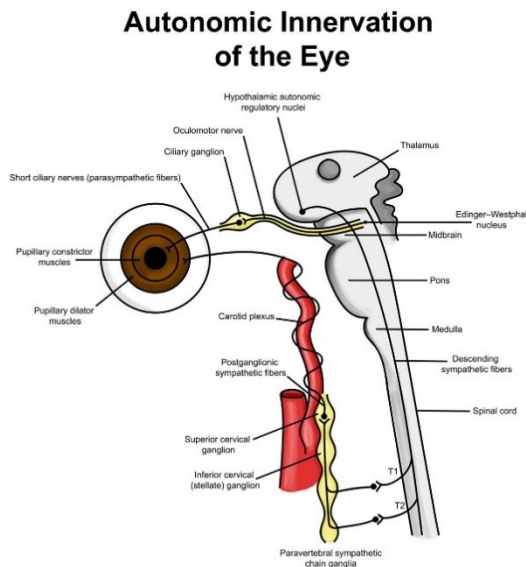


Immagine 1. *Innervazioni dei muscoli sfintere e dilatatore dell'iride. Il nucleo di Edinger-Westphal è indicato. Il centro ciliospinale si trova a livello delle vertebre T1 e T2 indicate.*

In ambito sperimentale è prassi comune utilizzare le variazioni del diametro pupillare per fare inferenze sul funzionamento del sistema nervoso autonomo, e quindi sullo stato di attivazione fisiologica dell'individuo (Leal et al., 2012; Winston et al., 2019; Tapper et al., 2021). Oltre alla dimensione in cui avviene il cambiamento del diametro pupillare (aumento/diminuzione), è possibile estrarre la variabilità con cui miosi e midriasi si susseguono. Le frequenze d'interesse con cui avvengono tali variazioni sono state mutate dalla variabilità della frequenza dei battiti cardiaci (*heart rate variability*), poiché entrambi i sistemi sono regolati dal bilanciamento tra attività simpatica e parasimpatica. In particolare, sono state usate le basse frequenze (LF, 0,04-0,15 Hz) e alte frequenze (HF, 0,15-2 Hz) (Piu et al., 2019). Le prime indicano un equilibrio dinamico tra la componente parasimpatica e quella simpatica del Sistema Nervoso Autonomo, mentre le seconde sono indice di prevalente attività parasimpatica (Peysakhovich et al., 2015). Il rapporto LF/HF è utilizzato come indicatore di dominanza simpatica se aumenta rispetto alla baseline del soggetto, o parasimpatica diminuisce (Peysakhovich et al., 2015).

Come precedentemente menzionato, la pupillometria è utilizzata anche per indagare lo sforzo cognitivo e il processamento di stimoli (Piquado et al., 2010). La ricerca ha

sfruttato la pupillometria in studi sulla percezione (Naber & Nakayama, 2013), sulla memoria (Goldinger & Papesh, 2012; Kafkas & Montaldi, 2011), sul processing del linguaggio (Zellin et al., 2011; Schmidtke, 2014), sulle emozioni (Ellingsen et al., 2013). Rilevante per il presente lavoro è l'utilizzo della dimensione pupillare come indicatrice di carico cognitivo, come descritto dall'omonima teoria (*Cognitive Load Theory*) (Moreno & Park, 2012; cfr. cap. 3). Il legame tra pupilla e carico cognitivo è dettato dal *Locus Coeruleus* (LC), un nucleo del tronco encefalico, il quale rilascia noradrenalina nel sistema nervoso centrale: le diramazioni del sistema neurotrasmettitoriale noradrenergico arrivano a influenzare indirettamente i muscoli della pupilla (Costa & Rudebeck, 2016). Nonostante la stretta correlazione temporale e causale, i meccanismi anatomici esatti attraverso cui il LC controlla la pupilla rimangono sconosciuti. Non si conoscono connessioni anatomiche dirette tra il LC e i nuclei del tronco encefalico che regolano fisicamente i muscoli pupillari (Costa & Rudebeck, 2016). I circuiti identificati come possibili responsabili sono diversi. Il controllo dell'LC sulla pupilla potrebbe avvenire in modo indiretto tramite proiezioni ai centri di controllo autonomo situati nell'ipotalamo. Il nucleo di Edinger-Westphal e il LC condividono un input, identificato nel nucleo paragigantocellulare del midollo ventrale (Costa & Rudebeck, 2016). A livello psicologico, l'attivazione del locus coeruleus è stata correlata al funzionamento cognitivo sia di basso che di alto livello (Poe et al., 2020), soprattutto nella popolazione anziana (Mather & Harley, 2016). Il LC regola poi lo stato di arousal dell'individuo attraverso due pattern di scarica distinti (Papesh & Goldinger, 2024):

- Un pattern tonico, caratterizzato da scariche lente da 1 a 6 Hz, generalmente associato a un livello elevato di allerta.
- Un pattern fasico, caratterizzato da scariche più rapide da 8 a 10 Hz, tipicamente associato all'elaborazione temporanea di stimoli esterni.

Non sono solo il grado di dilatazione o contrazione pupillare ad essere rilevanti, ma anche la variabilità con cui miosi e midriasi avvengono, come misurato dalla frequenza dei cambiamenti di dimensioni pupillare. La variabilità della dimensione della pupilla in stato di arousal alto o moderato, caratterizzata da traiettorie stabili, è considerata un buon indice di responsività agli stimoli e di funzionamento cognitivo (Piu et al., 2019). Diverso è per il fenomeno chiamato *hippus pupillare* (o *pupillary unrest*), ossia fluttuazioni spontanee

a riposo caratterizzate da una forte instabilità, dettate da un calo dell'arousal e dallo sforzo del cervello di mantenere lo stato di veglia (Schumann et al., 2020).

2.3 Bande EEG e dati pupillometrici nell'anziano sano

Con l'avanzare dell'età si osserva una riduzione della potenza complessiva delle bande EEG compresa tra il 20% e il 30% (Dustman et al., 1993). Tale decremento riguarda in particolare le bande delta, theta e alfa rapida (9,5–12,5 Hz) (Polich, 1997). Tuttavia, studi più recenti hanno evidenziato un aumento della potenza delle bande a frequenza più elevata, fenomeno che è stato interpretato come un possibile meccanismo compensatorio associato all'invecchiamento (Kang et al., 2024). Di seguito verranno approfonditi i risultati della ricerca per le bande di maggior interesse per questo lavoro, ossia le bande alfa e theta. La banda theta va incontro a una riduzione in potenza focalizzata a livello delle cortecce occipitali mentre l'alfa è ridotta diffusamente su tutta l'area posteriore dello scalpo (Babiloni et al., 2005; Aoki et al., 2022). Risulta inoltre che la frequenza stessa della banda alfa vada col tempo a ridursi, avvicinandosi maggiormente alle frequenze tipiche della banda theta (Kang et al., 2024). Queste variazioni sono indicative di un invecchiamento sano; al contrario, l'invecchiamento patologico è stato correlato o ad un aumento delle bande lente delta e theta nelle aree temporo-parietali e frontali (Dauwels et al., 2010) e una riduzione ancora più marcata dell'alfa, fenomeno legato alla perdita di integrità delle reti talamo-corticali (Jeong, 2004), e delle bande veloci beta e gamma. Tale profilo elettroencefalografico è considerato un indicatore di peggiore performance cognitiva e decadimento cognitivo (Liu et al., 2024), sia lieve che grave (Babiloni et al., 2021).

In condizioni di riposo la pupilla degli individui anziani tende a essere più piccola e meno reattiva di quella di individui più giovani a causa dell'insorgere del fenomeno della miosi senile: nel tempo il muscolo dilatatore dell'iride va incontro ad atrofia, mentre il muscolo sfintere tende a rimanere intatto, il che comporta una riduzione stabile del diametro pupillare a riposo. Inoltre, l'invecchiamento comporta una riduzione della densità della materia grigia (Freeman et al., 2008) anche a livello del locus coeruleus, fenomeno che ha come conseguenza una riduzione dell'efficacia dei meccanismi di dilatazione sia a riposo che in presenza di uno stimolo (Winn et al., 1994; Haj, 2024). La riduzione di diametro in condizioni scotopiche (cioè di bassa illuminazione) è di circa 0.057 mm

all'anno, mentre in condizioni fotopiche (ossia di alta illuminazione) è di 0.025 mm all'anno. Inoltre, le velocità di contrazione e dilatazione pupillare diminuiscono progressivamente (Tekin et al., 2018). Tali fenomeni sono accompagnati da un crollo della potenza spettrale globale (come indicata dalle HF e LF) (Bitsios et al., 1996), ossia da una diminuzione delle oscillazioni spontanee a riposo. (Loewenfeld & Lowenstein, 1993). In particolare, si osserva una diminuzione marcata delle alte frequenze, indice di attivazione parasimpatica, con il conseguente sbilanciamento del rapporto LF/HF (Peysakhovich et al., 2015). La ricerca scientifica recente ha dibattuto sul significato delle variazioni del diametro pupillare nella popolazione anziana. Da un lato, il modello GANE (*Glutamate Amplifies Noradrenergic Effects*) proposto da Mather & Harley (2016) evidenzia come la perdita di neuroni a livello del locus coeruleus comporti una riduzione progressiva della dimensione pupillare nell'arco di vita, riflettendo un calo dell'attività tonica di base. Dall'altro lato, altri studi (Schumann et al., 2020; Kim et al., 2025) si sono concentrati sull'instabilità di tali traiettorie in resting state, ipotizzando che, laddove si verificano stati di iperattività tonica, questi risultino disadattivi: riducono infatti la reattività fasica, l'attenzione agli stimoli esterni e le capacità di elaborazione critica del soggetto (Aston-Jones & Cohen, 2005).

CAPITOLO 3. UNIRE SUGGESTIONABILITÀ E MISURE NEUROFISIOLOGICHE

Le misure neurofisiologiche, a differenza del colloquio o psicodiagnostica classica, offrono la possibilità di studiare le basi neurali del funzionamento psicologico. La Teoria del Carico Cognitivo (Cognitive Load Theory, CLT) è una teoria psicologica che mette in relazione i processi di apprendimento con lo stato di arousal. Questo quadro teorico consente di integrare il costrutto della suggestionabilità interrogativa con misure neurofisiologiche, quali l'elettroencefalografia (EEG) e l'eye-tracking, offrendo una prospettiva multidimensionale per l'analisi dei processi cognitivi coinvolti (Sweller et al., 1998)

3.1 La teoria del carico cognitivo

La *Cognitive Load Theory* è stata inizialmente concepita come una teoria psicologica che spiegasse gli effetti che la modifica del design sperimentale avesse sui costrutti di carico cognitivo e apprendimento (Sweller et al., 1998). Il carico cognitivo è descritto come il carico imposto dalla struttura del compito sulle limitate capacità del sistema cognitivo (Sweller, 2020). Quest'ultimo presenta delle somiglianze importanti con il costrutto del carico di lavoro, ossia la differenza tra la difficoltà di un compito da svolgere e l'abilità dell'individuo di svolgere tale compito (Moray, 1979). Oltre alla quantità di lavoro implicata nel task, sono importanti anche componenti legate all'individuo: le aspettative dell'individuo riguardo alla situazione, la quantità di sforzo effettuato e percepito, la percezione di adeguatezza della soluzione presa (Moreno & Park, 2012). Nella descrizione di carico cognitivo la CLT non prende in considerazione i fattori psicologici esterni alla natura del compito, focalizzandosi principalmente sulle caratteristiche oggettive del compito che influenzano il funzionamento cognitivo e le capacità di apprendimento. L'unico elemento individuale incluso nella teoria è la conoscenza che chi svolge il compito può avere in merito alla struttura del compito stesso (Kalyuga et al., 1998). Nel corso del tempo, la CLT ha affrontato tre stadi di sviluppo che esemplificano tre tipologie di carico cognitivo differenti (Moreno & Park, 2012):

- **Carico cognitivo estraneo** (*extraneous cognitive load*): è la componente di carico dovuto a fattori ambientali e situazionali esterni alla natura fondamentale del compito, piuttosto che all'impegno usato nell'apprendimento vero e proprio (Sweller, 1988). Per costruire una competenza approfondita è necessario acquisire

in memoria degli schemi, e qualsiasi tipo di attività che non sia diretta alla comprensione e memorizzazione degli schemi costituisce un dispendio di energie non necessario che è auspicabile evitare. Gli schemi aiutano ad ampliare la ridotta capacità del sistema cognitivo poiché possono essere manipolati come un unico *chunk* all'interno della memoria di lavoro, il che non rende necessaria l'elaborazione seriale di ogni singolo elemento del problema. Inoltre, schemi acquisiti possono diventare schemi automatizzati, il che riduce lo sforzo per essere richiamati in memoria di lavoro (Moreno & Park, 2012).

- **Carico cognitivo intrinseco** (*intrinsic cognitive load*): è la componente di carico dettata dalla struttura ineludibile del compito (Sweller, 1993). Essa può essere stimata “contando il numero di elementi che devono essere considerati simultaneamente in modo da imparare una particolare procedura” (tradotto da Sweller & Chandler, 1994, p. 190). Oltre a questo numero di fattori, il carico cognitivo intrinseco dipende anche dalla qualità e dalla quantità delle conoscenze pregresse dell'individuo. Sia l'aumento di carico cognitivo intrinseco che l'aumento di carico cognitivo estrinseco influenzano negativamente la prestazione al compito ed il suo apprendimento.
- **Carico cognitivo pertinente** (*germane cognitive load*): la terza componente è, diversamente dalle altre, legata positivamente alla riuscita del processo di apprendimento, poiché fa riferimento alle risorse cognitive impegnate nell'apprendimento degli schemi e nella loro automazione (Cook et al., 2017).

Le tre componenti sono legate attraverso un'ipotesi additiva. Perché il processo di apprendimento abbia successo, la somma del carico dovuto a tutte e tre le componenti non deve eccedere le capacità della memoria di lavoro. Tuttavia, il rapporto tra tali componenti è asimmetrico. Quando l'obiettivo è ottimizzare la prestazione, è possibile ridurre il carico cognitivo estraneo e, al contempo, incrementare il carico cognitivo pertinente. Diversamente, il carico cognitivo intrinseco proprio del compito di interesse non può essere ulteriormente ridotto (Paas et al., 2016).

Il carico cognitivo interagisce con lo stato di arousal in modo complesso. Livelli di arousal troppo elevati fungono da componenti di carico di lavoro estraneo, poiché contribuiscono ad appesantire la memoria di lavoro entrando in competizione con gli schemi per le

limitate risorse a disposizione del sistema cognitivo (Plass & Kalyuga, 2019). Un arousal moderato ha invece l'effetto opposto. Un'attivazione funzionale è associata al carico pertinente ed agisce dunque come facilitatore per la riuscita del compito, permettendo di focalizzare l'attenzione in modo strategico migliorando la prestazione a lungo termine (Koerber & Park, 2026). Questi risultati sono in accordo con la legge di Yerkes-Dodson (Yerkes & Dodson, 1908) secondo la quale la relazione tra il livello di attivazione fisiologica e la prestazione ad un compito non è lineare, ma segue una curva a campana rovesciata: le prestazioni sono minime sia a bassi livelli di arousal, per mancanza di motivazione ed *engagement*, che a livelli alti, che causano ansia e stress. È a livelli di arousal moderati che il trade-off costi-benefici è bilanciato e le prestazioni sono ottimali (Teigen, 1994). Oltre a essere l'arousal a modulare il carico cognitivo può avvenire anche il contrario. Come descritto precedentemente (cfr. cap. 2.2) la dilatazione pupillare è indice di aumentato arousal e dunque attività simpatica. Un carico impegnativo contribuisce a inibire il percorso parasimpatico che gestisce la costrizione pupillare, il che comporta un rilassamento del muscolo sfintere dell'iride e a un'ulteriore dilatazione significativa della pupilla (Jerčić et al., 2018).

3.1.2 Misure psicofisiologiche di carico cognitivo

Le misure di carico cognitivo più utilizzate sono misure di performance o misure psicofisiologiche. Le misure psicofisiologiche di maggiore interesse per questo lavoro sono quelle basate sull'attività del sistema nervoso; in particolare, l'attività EEG, e quelle basate sulla pupillometria. È importante specificare che, a differenza del presente studio, la maggioranza dei lavori sul carico cognitivo effettua misurazioni durante lo svolgimento di un compito, e non durante uno stato di rilassamento (Das Chakladar & Roy, 2024).

I principali risultati delle ricerche condotte sul carico cognitivo attraverso EEG riportano un significativo aumento della potenza della banda theta in area frontale durante compiti di memoria di lavoro (Gevins et al., 1998; McEvoy et al., 1998) e una riduzione della banda alfa, proporzionale allo sforzo mentale richiesto (Gerč & Jaušvec, 1999). Ciò è in linea con le evidenze in riferimento alla funzionalità delle bande: la banda theta frontale correla infatti con il processamento attivo delle informazioni; mentre, la banda alfa con stati di ridotta attivazione e rilassamento. Queste evidenze suggeriscono che il carico cognitivo correla con la diminuzione della potenza di banda alfa all'aumentare

dell'impegno richiesto dal compito (Klimesch, 1999). La letteratura evidenzia che la relazione tra bande EEG e carico cognitivo varia a seconda del paradigma sperimentale considerato. Ad esempio, durante lo svolgimento di un compito, un aumento della banda theta frontale è un marker di miglior funzionamento cognitivo (Cavanagh & Frank, 2014); al contrario, un aumento della banda theta in fase di resting state è indicativo di un calo dell'arousal (Strijkstra et al., 2003). Si incontrano variazioni in resting state anche per la banda alfa, con un'importante distinzione tra resting state a occhi aperti o a occhi chiusi. In entrambi i casi la banda alfa è correlata negativamente allo stato di arousal; tuttavia, durante fasi di rilassamento svolte a occhi aperti si osserva una diminuzione della banda alfa a causa della desincronizzazione dei ritmi talamo-corticali, in modo da preparare il cervello a processare le informazioni provenienti dall'ambiente (Barry et al., 2007). Al contrario, nello stato di resting state a occhi chiusi si osserva un aumento della potenza di banda alfa collegato allo stato di rilassamento (Barry et al., 2020).

La pupillometria è ampiamente usata come indicatore diretto del livello di carico cognitivo (Urrestilla & St-Onge, 2020). Gli studi che hanno usato la pupillometria per indagare il carico cognitivo riportano un aumento della dilatazione pupillare al crescere della richiesta del compito, mentre riportano una contrazione pupillare al diminuire della richiesta (Mathôt, 2018). A un maggiore carico cognitivo è anche associata una maggiore variabilità della dimensione pupillare (Podvalny et al., 2021). Quando vengono effettuate misure pupillometriche in stato di riposo, gli individui caratterizzati da un maggiore stato di arousal basale presentano un maggiore diametro pupillare (Gilzenrat et al., 2010) e una buona flessibilità fisiologica, che segue traiettorie stabili (Aminihajibashi et al., 2019), a causa delle scariche toniche provenienti dal sistema noradrenergico del locus coeruleus (Costa & Rudebeck, 2016). Al contrario, in situazioni di calo dell'arousal il diametro pupillare diminuisce ed emergono i fenomeni di instabilità dell'hippus (Gilzenrat et al., 2010; Schumann et al., 2020).

La ricerca sul carico cognitivo in condizioni di riposo è stata svolta utilizzando strumentazioni e metodologie diverse, sia sul versante della pupillometria che dell'EEG. Alcuni studi hanno evidenziato una relazione lineare positiva tra la dimensione della pupilla a riposo e la performance a compiti di natura cognitiva. Sembra che individui caratterizzati da una maggiore capacità della memoria di lavoro mostrino, in media, pupille basali stabilmente più grandi rispetto a soggetti con performance inferiori (Heitz

et al., 2007; Tsukahara et al., 2016). Tale evidenza è stata interpretata come effetto della piena funzionalità dell'attività tonica del locus coeruleus (Tsukahara et al., 2016). Tuttavia, evidenze empiriche più recenti non hanno confermato l'esistenza di una relazione diretta tra la dimensione media assoluta della pupilla e la capacità della memoria di lavoro. Al contrario, è emerso che la variabilità dinamica del segnale pupillare a riposo costituisce un predittore più affidabile di una maggiore capacità della memoria di lavoro (Aminihajibashi et al., 2019). Tale associazione è stata interpretata alla luce del concetto di variabilità adattiva, considerata un indicatore del buon funzionamento e della flessibilità dei sistemi di allerta (Aminihajibashi et al., 2019).

Più rari e complessi metodologicamente sono i lavori che sfruttano l'elettroencefalografia a riposo come indice di carico cognitivo. Klimesch e colleghi (1993) hanno usato l'elettroencefalografia in fase di resting state per valutare i picchi di banda alfa prima dello svolgimento di un compito di memoria di lavoro. Sembra che i soggetti che mostravano prestazioni più elevate ai task mnesici fossero caratterizzati da un picco di alfa individuale più marcato (Klimesch et al., 1993). Chen e colleghi (2025) hanno registrato la variabilità delle oscillazioni in banda alfa durante una fase di resting state a occhi chiusi, precedente allo svolgimento di un compito di memoria di lavoro. Le analisi sono state effettuate mediante *fuzzy entropy*, un metodo computazionale di analisi dei segnali, finalizzato alla quantificazione della complessità, della regolarità e della variabilità di una serie temporale (Chen et al., 2007), applicato alla coerenza dinamica dell'EEG. Gli autori hanno osservato che una maggiore flessibilità temporale nei circuiti fronto-parietali destri anticipa una migliore gestione del carico cognitivo. Al contrario, hanno osservato una minor variabilità degli spettri a livello delle aree del Default Mode Network (Chen et al., 2025). Sebbene questi studi non facciano un utilizzo principale dell'analisi dello spettro di potenza delle frequenze EEG, e abbiano una natura metodologica diversa da quella del presente lavoro, avvalorano l'ipotesi che sia possibile operare una stima del livello di carico cognitivo e di performance cognitiva sulla base di misure neurofisiologiche in fase di resting state.

3.1.3 Carico cognitivo e suggestionabilità interrogativa

Quanto alla relazione tra carico cognitivo e suggestionabilità interrogativa, Cota (2025) ha riscontrato che l'applicazione di un carico cognitivo influisce direttamente sulla

capacità di elaborare criticamente le domande dell'interrogatore. Quando le risorse della memoria di lavoro sono sature a causa di un compito secondario, i soggetti mostrano una minore capacità di monitorare le fonti della memoria e tendono ad accettare passivamente i dettagli fuorvianti inseriti nelle domande, portando a un incremento degli errori di Accettazione (Cota, 2025). Un altro studio di Alm e colleghi (2019) ha appurato che il carico cognitivo indotto dall'uso della lingua non nativa (nello specifico, soggetti svedesi che testimoniano in lingua inglese) influisce in modo diretto e dannoso sulla suggestionabilità, accettando maggiormente le domande suggestive dell'interrogatore rispetto ai testimoni che utilizzano la propria lingua madre (Alm et al., 2019). Questi risultati sono in linea con l'idea che occupare spazio nel sistema cognitivo attraverso un carico cognitivo estraneo peggiori le prestazioni dei soggetti nello svolgimento del compito principale (Moreno & Park, 2012). È dunque lecito ipotizzare che individui che subiscono un maggiore carico cognitivo a riposo incontrino le medesime difficoltà e possano risultare maggiormente suggestionabili ed imprecisi nei resoconti testimoniali.

CAPITOLO 4: LO STUDIO

4.1 Obiettivi della ricerca

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di indagare eventuali marker neurofisiologici di suggestionabilità interrogativa negli anziani in condizioni di resting state. Nello specifico, sono stati utilizzati come marker neurofisiologici la potenza delle bande elettroencefalografiche e la dimensione del diametro pupillare. La suggestionabilità interrogativa è stata misurata attraverso l'utilizzo della scala Gudjonsson Suggestibility Scale versione 2 (GSS-2).

Le analisi condotte in questa tesi sono state effettuate su dati raccolti da febbraio 2025 ad aprile 2026 nell'ambito dello Spoke 3, Working Project 3 del progetto DigitAl lifelong prevention (DARE) presso i laboratori affini al Dipartimento di Psicologia Generale dell'Università di Padova. Il progetto DARE, finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca con fondi derivati dal Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), è un'iniziativa che si propone di migliorare la promozione della salute, la prevenzione digitale e di comunità durante tutto l'arco della vita. Il progetto “si propone di utilizzare le tecnologie digitali per creare un ecosistema sanitario rivolto alla prevenzione digitale delle malattie basate sui dati.” (Fondazione DARE, s. d.). Nello specifico lo Spoke3, Working Project 3, che prende il nome di “Indicatori clinici cognitivi e neuropsicologici dell'invecchiamento sano” è rivolto a individuare marcatori precoci di decadimento cognitivo. Questa ricerca ha una durata complessiva due anni, da febbraio 2025 a dicembre 2026, e ha previsto la raccolta di dati sulla popolazione generale anziana in più time-point, uno ogni anno (per un totale teorico di due time-point).

4.2 Ipotesi

Alla luce delle considerazioni riportate nei capitoli precedenti, si ipotizza che gli anziani ritenuti maggiormente suggestionabili sulla base dei punteggi totalizzati alla GSS-2 siano caratterizzati da un pattern neurofisiologico a riposo indicativo di aumentato carico cognitivo basale. Si suppone che ciò renda più difficile per i partecipanti valutare criticamente le domande suggestive poste dall'esaminatore in fase di interrogatorio, comportando una maggiore suggestionabilità interrogativa. Le ipotesi specifiche formulate in questa sede in merito al legame tra ai dati pupillometrici ed EEG e punteggi alla GSS-2 sono le seguenti. In particolare, si ipotizza che un alto valore di

suggestionabilità, misurato dall'indice di Suggestionabilità totale, tramite la scala GSS-2, correla con:

- Un maggior diametro pupillare.
- Una minore attività alfa a riposo.
- Una maggiore attività theta a riposo.

4.3 Metodologia

4.3.1 Disegno sperimentale

I dati analizzati sono stati estratti da un progetto di raccolta preesistente su soggetti over 64, concentrandosi specificamente sulle registrazioni effettuate in condizione di resting state. Per consentire il confronto dei profili neurofisiologici, il campione totale (N = 89, cfr. cap. 4.3.2) è stato suddiviso sulla base della mediana dei punteggi ottenuti dai partecipanti alla Gudjonsson Suggestibility Scale (GSS-2). Ciò ha permesso di suddividere i partecipanti in due gruppi distinti: un gruppo ritenuto ad Alta suggestionabilità, con punteggi maggiori della mediana della distribuzione e uno ritenuto a Bassa suggestionabilità, con punteggi più bassi della mediana della distribuzione. A livello pratico sono stati usati due campioni differenti per le analisi elettroencefalografiche e pupillometriche, cosa possibile poiché i rapporti di una e dell'altra misura con i punteggi alla GSS-2 sono stati calcolati indipendentemente l'uno dall'altro. Si sottolinea, che i due campioni hanno una numerosità differente a causa dell'esclusione dall'analisi di partecipanti diversi sulla base del diverso preprocessing dei dati neurofisiologici (cfr. cap. 4.5.1 e 4.5.2).

Per indagare la relazione tra l'attività pupillare a riposo e la suggestionabilità interrogativa, l'analisi statistica ha previsto l'impiego di modelli lineari a effetti misti (LMM). All'interno dei modelli, la dimensione pupillare corretta alla baseline è stata inclusa come variabili dipendente. I gruppi di Alta e Bassa suggestionabilità (cfr cap. 4.5.3), i timebin (cfr. cap. 4.5.2) e l'interazione tra timebin e gruppo ad alta suggestionabilità sono stati utilizzati come predittori nelle analisi pupillometriche.

Per indagare la relazione tra attività elettroencefalografica in resting state e suggestionabilità interrogativa sono state effettuate quattro regressioni lineari indipendenti, una per ogni indice principale, ossia Suggestionabilità totale, Accettazione

1, Accettazione 2 e Cambio. Ogni modello ha usato come predittore la potenza spettrale delle bande di frequenza EEG alfa, beta, theta e delta.

4.3.2 Partecipanti

La ricerca era rivolta a adulti con oltre 64 anni di età. I criteri di inclusione riguardavano la conoscenza della lingua italiana e l'assenza di patologie psichiatriche e neurologiche. Lo studio prevedeva una compensazione in denaro di euro 100,00 da ripetersi alla partecipazione a ogni time-point. Nel presente progetto è stata presa in considerazione solo una parte del campione totale raccolto dalla ricerca. Inizialmente il campione di interesse era di 91 partecipanti. A causa della mancanza di dati relativi alla scala GSS-2, $n = 2$ di questi sono stati esclusi dalle analisi preliminari, portando il campione a $N = 89$ partecipanti. Il campione, composto da 53 donne e 36 uomini (vedi grafico 2), presenta età media di 72 ± 6 anni, con un minimo di 64 e un massimo di 88 anni (vedi grafico 1).

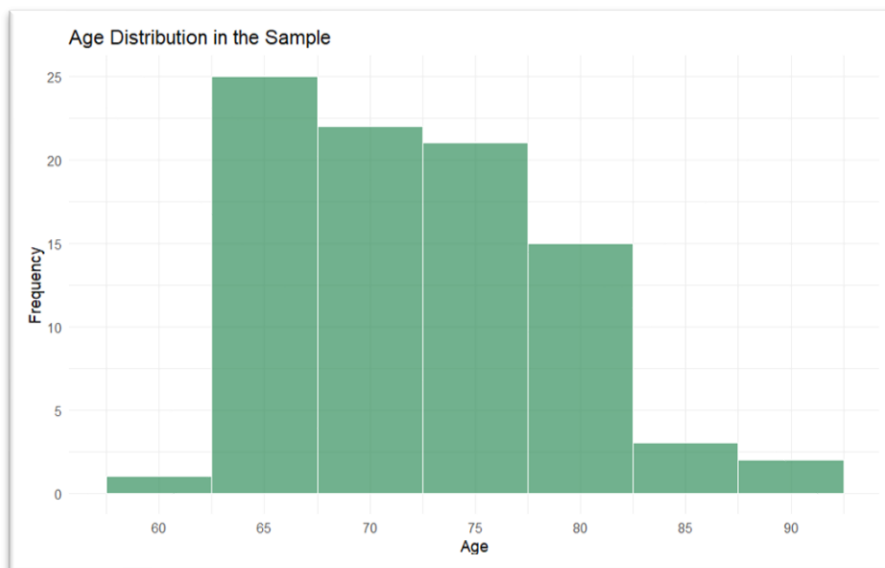


Grafico 1. *Distribuzione dell'età degli 89 partecipanti iniziali. L'istogramma mostra una concentrazione di partecipanti tra i 65 e gli 80 anni. La distribuzione mostra una leggera skew positiva estesa verso l'età più avanzata.*

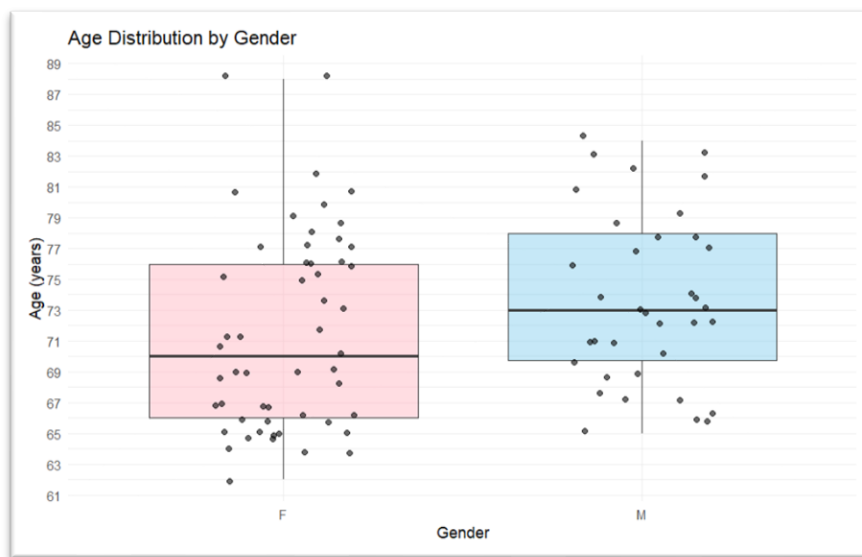


Grafico 2. *Boxplot raffiguranti le distribuzioni dell'età per genere. Nel gruppo delle donne (in rosa) l'età mediana è di 70 mentre nel gruppo degli uomini (in blu) è di 73. Il range interquartile è comparabile tra i due gruppi, e le distribuzioni si sovrappongono significativamente, con una varianza lievemente maggiore nel gruppo delle donne.*

Per le analisi di pupillometria sono stati esclusi altri $n = 8$ partecipanti a causa della mancanza di registrazione della pupilla dovuta al fallimento ripetuto del processo di calibrazione, $n = 20$ per mancanza del 50% o più di dati pupillometrici (cfr. cap. 4.5.2), $n = 2$ per la presenza di segnali particolarmente rumorosi. Il totale del campione finale mantenuto per le analisi di pupillometria era di $n = 59$ partecipanti.

Per le analisi riguardanti l'elettroencefalografia sono stati esclusi $n = 3$ partecipanti per mancanza di dati. Il totale del campione finale mantenuto per le analisi con elettroencefalografia era quindi di $n = 86$ partecipanti.

4.3.3 Strumenti psicodiagnostici

Durante T1 venivano somministrate nell'ordine qui esposto, oltre alla GSS-2 (cfr. cap. 1.2.3), le seguenti prove atte a valutare il funzionamento cognitivo del partecipante nelle aree di memoria, linguaggio, prassia, attenzione e funzionamento esecutivo:

- *Mini Mental State Examination* (MMSE) (Magni et al., 1996).
- *Digit Span* forward e backward (Monaco et al., 2012).

- *Paced Auditory Serial Addition Test* (PASAT) (Saetti et al., 2021).
- Test di memoria di prosa (Mondini et al., 2011).
- Figura di Rey (Caffarra et al., 2002b).
- Test delle 15 Parole di Rey (Carlesimo et al., 2008).
- *Trail Making Test* version A e B (Mondini et al., 2011).
- Matrici attentive (Spinnler, 1987).
- Test dell'orologio (Mondini et al., 2011).
- Test di Stroop (Caffarra et al., 2002a).
- Test di fluenza fonemica (Mondini et al., 2011).
- Test di astrazione (Mondini et al., 2011).

Al termine della batteria veniva somministrato il *Cognitive Reserve Index questionnaire* versione breve (CRI-Q short, Mondini et al., 2023) per effettuare una stima della riserva cognitiva del partecipante. I questionari da compilare autonomamente erano i seguenti:

- *Pittsburgh Sleep Quality Index* (PSQI), per valutare la qualità del sonno (Smyth, 1999, versione italiana di Curcio et al., 2013).
- *Depression, Anxiety and Stress Scale Short Version* (DASS-21), per valutare eventuali tratti di ansia, depressione e stress (Henry & Crawford, 2005, versione italiana di Bottesi et al., 2015).
- *Delayed Gratification Inventory*, per valutare la capacità di ritardare la gratificazione e di non cedere facilmente agli impulsi edonisti (Hoerger et al., 2011; versione italiana di Liang et al., 2023).
- Un questionario per la valutazione delle abitudini alimentari (QueMD, Gnagnarella et al., 2018).
- *Global Physical Activity Questionnaire* (GPAQ), per valutare l'attività fisica quotidiana (Bull et al., 2009, versione italiana a cura del SSN).

Prima della sessione T2 di EEG ed eye-tracking veniva somministrato il *Montreal Cognitive Assessment* (MoCA, Pirani et al., 2006) per uno screening di base delle funzioni cognitive.

4.3.4 Strumentazione EEG ed eye-tracking

Per l'elettroencefalografia è stato usato un sistema ad alta densità (HD-EEG) actiCAP snap con 128 elettrodi attivi rimuovibili dalla cuffia (vedi immagine 2). Sulla base del sesso biologico del partecipante, veniva preparata una cuffia da 56 cm per le donne o da 58 cm per gli uomini. Il posizionamento degli elettrodi sulla cuffia seguiva il sistema 10-05. Gli elettrodi erano organizzati in gruppi da 32 canali, ciascuno dei quali assegnato a un ingresso specifico nell'amplificatore (ActiCHamp Plus). Nel sistema non è presente un elettrodo di riferimento (REF) dedicato pertanto come riferimento è stato utilizzato l'elettrodo 32 del secondo gruppo, posizionato in area FCz. Il ground (GND) era collocato al centro della parte alta della fronte e collegato separatamente all'amplificatore. Per ridurre le impedenze e migliorare l'aderenza degli elettrodi allo scalpo è stato utilizzato il gel elettrolitico a elevata viscosità *SuperVisc HighViscosity Electrolite Gel*. La sessione di preparazione del setup EEG richiedeva circa venti minuti. Si procedeva con il controllo delle impedenze, e in caso di eccedenze ($> 25 \text{ kOhm}$) si operava una sistemazione degli elettrodi interessati. Successivamente il partecipante veniva fatto accomodare di fronte al computer, con il mento al di sopra di una mentoniera, in modo da limitare i movimenti della testa durante i task.



Immagine 2. La cuffia actiCAP snap da 56 cm utilizzata per le acquisizioni coi partecipanti di sesso femminile.

Successivamente si procedeva con la preparazione dell'eye-tracker. I dati oculari sono stati raccolti con EyeLink Portable Duo. Lo strumento indirizza luce infrarossa verso gli

occhi, e rileva la posizione del riflesso corneale e del riflesso pupillare, parametri attraverso i quali il software ricostruisce il movimento degli occhi (cfr. cap. 2.2). Il campionamento dei dati oculari è avvenuto in forma binoculare con una frequenza di campionamento fino a 2000 Hz. Il sistema EyeLink era configurato in modo che:

- La distanza tra la camera ed il monitor di stimolazione fosse di 530 mm.
- La distanza tra gli occhi e il punto più alto del display del monitor fosse di 1050 mm.
- La distanza tra gli occhi e il punto più basso del display del monitor fosse di 1070 mm.

La risoluzione del display era impostata a 1920x1080 pixel, mentre la porzione visibile del display era di 600x340 mm. Una videocamera interna all'eye tracker acquisiva il volto del partecipante e il dettaglio di ciascun occhio, entrambi visualizzati sui monitor di controllo del laboratorio sperimentale. La pupilla di ciascun occhio appariva di colore blu brillante, mentre il riflesso corneale era visualizzato in ciano. Dall'interfaccia era possibile modificare la dimensione della pupilla e del riflesso corneale, indipendentemente per ogni occhio, modificando i parametri di soglia di luminosità considerati dal sistema, che variano da 0 a 255), misurati su una scala di grigi a 8 bit. Il programma considera come appartenenti alla pupilla tutti i pixel con una luminosità inferiore a una certa soglia (PUPIL), mentre considera riflesso corneale tutti i pixel con luminosità superiore a un'ulteriore soglia (CORNEAL). Per individuare la pupilla la soglia di luminosità veniva impostata intorno a 85, per individuare il riflesso corneale veniva impostata intorno ai 250. Il sistema, in caso di mancato riconoscimento della pupilla o del riflesso corneale dovuto a una sistemazione errata dei parametri o di un ammiccamento, riportava un segnale di errore.

Prima di ognuno dei tre task previsti venivano effettuate la calibrazione e la validazione dell'eye tracker, fondamentale per massimizzare l'accuratezza spaziale. Prima di iniziare si verificava la presenza di un corretto allineamento verticale, ossia l'altezza del partecipante rispetto al monitor e distanza dell'occhio dalla telecamera. Inoltre, si considerava la presenza di fattori noti per compromettere la qualità dei dati, come make-up, occhiali, lenti a contatto e palpebra cadente (Klein & Ettinger, 2019). Il processo di calibrazione consente di trasformare il movimento degli occhi in coordinate di posizione

sullo schermo (Klein & Ettinger, 2019). In particolare, la calibrazione consiste nel far fissare ai partecipanti punti noti su uno schermo, al fine di stimare la relazione tra dati grezzi raccolti dall'eye tracker e le posizioni reali dei target. Al partecipante veniva richiesto di fissare fino a 13 punti bianchi che apparivano in successione e in posizioni diverse sullo schermo. Al termine della calibrazione seguiva la fase di validazione, che ha l'obiettivo di misurare l'errore dell'attuale modello di calibrazione. Anche in questa fase il partecipante doveva fissare punti bianchi che apparivano in successione. Il software mostra il tasso di errore indipendentemente per ciascun occhio. Laddove il sistema riportava insuccesso o venivano riscontrati tassi di errore troppo elevati, si procedeva con una nuova fase di calibrazione e di validazione.

4.4 Svolgimento delle sessioni

Ad ogni partecipante veniva chiesto di presentarsi a un primo giorno di testing in presenza (sessione T1) in cui venivano effettuate le prove di cinematica, valutazione neuropsicologica e misurazione della riserva cognitiva (cfr. cap. 4.3.3); a fine sessione venivano consegnati al partecipante dei questionari autosomministrati da compilare autonomamente (cfr. sempre cap. 4.3.3). Inoltre, veniva consegnato un actigrafo per la registrazione di indici fisiologici ed attività motoria, da tenere sul polso della mano non dominante per la durata di cinque giorni. A distanza di una settimana avveniva una seconda sessione in presenza (denominata T2), nella quale prima il partecipante riconsegnava l'actigrafo ed i questionari autosomministrati compilati, poi veniva somministrata una diversa prova neuropsicologica di screening generale (MoCA, cfr. cap. 4.3.3) e venivano effettuate le misurazioni elettroencefalografiche combinate ad eye-tracking (cfr. cap. 4.3.4). La procedura veniva quindi ripetuta ogni anno, sino al concludersi del progetto.

La sessione T1 avveniva all'interno del laboratorio atto alla registrazione cinematografica: il partecipante veniva fatto accomodare, gli venivano fornite indicazioni circa lo svolgimento dell'esperimento, veniva consegnato l'actigrafo e i questionari autosomministrati. A tutti i partecipanti veniva presentato il modulo informativo di consenso alla partecipazione e al trattamento dei dati in accordo con quanto richiesto dalle normative vigenti. Successivamente, veniva letto al partecipante il racconto della GSS-2, e questi procedeva poi con il richiamo immediato libero. Previo consenso, la risposta è

stata registrata per facilitare la successiva fase di scoring. Durante l'intervallo di ritenzione venivano effettuate le prove di cinematica; successivamente, si passava al richiamo differito e alla sezione di domande suggestive della scala (cfr. cap. 1.2.3). Al termine della somministrazione il partecipante veniva rassicurato in merito al feedback negativo ricevuto, come da protocollo della GSS-2, e si procedeva con lo svolgimento delle restanti prove neuropsicologiche (cfr. cap. 4.3.3). La GSS-2 veniva somministrata solo al primo time-point, poiché la conoscenza della struttura della scala (ossia delle domande suggestionabili e del feedback negativo forzato) ne inficerebbe l'efficacia dovesse essere risomministrata una seconda volta (Gudjonsson, 2002).

La sessione T2 avveniva all'interno del laboratorio di HD-EEG. Venivano in primis raccolti i questionari autosomministrati e il partecipante restituiva l'actigrafo. Poi veniva somministrato il MoCA per lo screening cognitivo e si passava al montaggio della cuffia EEG. Una volta completato il montaggio, veniva spiegato al partecipante lo svolgimento dei compiti di eye-tracking, così suddivisi:

- Una fase di *resting state*, della durata approssimativa di 5 minuti, in cui veniva richiesto al partecipante di osservare liberamente lo schermo grigio. È sui dati raccolti in questa fase che si sono svolte le analisi per questa tesi.
- Una fase di *free-viewing*, della durata di circa 18 minuti, in cui il partecipante osservava liberamente delle immagini di ambienti tratte dal database Places365 (Zhou et al., 2017)
- Una fase di *visual search*, della durata di circa 5 minuti, durante la quale il partecipante doveva cercare all'interno delle immagini (tratte dallo stesso database citato precedentemente) uno specifico target. Ai partecipanti era chiesto di identificare il target e successivamente premere la barra spaziatrice.

Come sopra specificato, prima di ogni task si procedeva con la calibrazione e la validazione dell'eye-tracking. Il completamento del terzo task segnava la conclusione della sessione T2 e del time-point.

4.5 Preprocessing dei dati neurofisiologici

4.5.1 Preprocessing dei dati EEG

I dati raccolti di EEG e pupillometria prima di essere sottoposti alle analisi statistiche sono stati rielaborati seguendo una precisa *pipeline* di pre-elaborazione (il procedimento già citato in cap. 2.1 detto preprocessing o *preprocessing*). In linea con la letteratura che evidenzia la variabilità delle pipeline di preprocessing EEG e l'assenza di un unico standard metodologico (Trübutschek et al., 2024), le procedure adottate seguono approcci comunemente impiegati in ambito EEG. (Trübutschek et al., 2024) Il preprocessing dei dati EEG è stato effettuato sulla piattaforma MATLAB grazie al toolbox EEGLAB. In ordine, i passaggi effettuati (attraverso uno *script* con ciclo *for*) sono stati i seguenti:

- **Reinserimento del segnale della REF:** poiché il canale 32 del terzo gruppo, posizionato in FCz, è stato utilizzato come elettrodo di riferimento, il suo segnale è stato convenzionalmente posto pari a zero. Infatti, l'attività registrata da ciascun elettrodo rappresenta una differenza di potenziale rispetto al riferimento. Per questo motivo, è stato necessario ricostruire a posteriori il segnale del canale REF mediante una procedura di re-referenziazione che ne stimasse l'attività sulla base della media dei segnali provenienti dagli altri elettrodi.
- **Estrazione della finestra:** è stata estratta la porzione di segnale compresa tra i marker di inizio e fine della fase di resting state, corrispondente a un intervallo di 300 s (5 minuti).
- **Filtraggio del segnale:** il segnale è stato filtrato digitalmente con un filtro passa-alto a 1 Hz e un filtro passa-basso a 45 Hz, in modo tale da eliminare i segnali ad alta frequenza e l'interferenza della rete elettrica (intorno ai 50 Hz) ed eliminare le derive lente dovute ad esempio alla sudorazione (spesso inferiori a 1 Hz).
- **Ricampionamento:** il segnale è stato successivamente ricampionato a una frequenza di 250 Hz. Tale valore rappresenta un margine ampiamente adeguato secondo il criterio di Nyquist, poiché la massima frequenza presente nel segnale dopo il filtraggio era pari a 45 Hz. La riduzione della frequenza di campionamento ha inoltre consentito di diminuire significativamente il carico computazionale e i tempi di elaborazione delle analisi successive.

- **Pulizia ed eliminazione dei canali artefatti:** sono stati identificati ed esclusi dall'analisi i canali caratterizzati da un segnale piatto per oltre cinque secondi o da una correlazione inferiore a 0,80 con i canali limitrofi.
- **Interpolazione:** i canali precedentemente eliminati sono stati successivamente ricostruiti mediante interpolazione sferica, utilizzando le informazioni spaziali provenienti dagli elettrodi circostanti.
- **Ri-referenziazione:** successivamente, i dati sono stati re-referenzati alla media comune (*common average reference*). Pertanto, il riferimento utilizzato durante l'acquisizione (FCz) è stato sostituito dalla media dell'attività di tutti gli elettrodi, che è divenuta il nuovo riferimento per il calcolo dei potenziali EEG.
- **Eliminazione del segnale non cerebrale:** il segnale è stato sottoposto a *ICA* (*Independent Component Analysis*) per separare le diverse sorgenti indipendenti che contribuiscono all'attività EEG registrata. Le componenti ottenute sono state successivamente classificate mediante l'algoritmo ICLabel, che assegna a ciascuna componente una probabilità di appartenenza a diverse categorie (*brain, muscle, eye, heart, line noise, channel noise* e *other*). Per le analisi successive sono state conservate unicamente le componenti classificate come “brain” e come “other”.
- **Computo della potenza delle frequenze spettrali:** è stata condotta un'analisi di *Power Spectral Density* (PSD), finalizzata alla stima della potenza spettrale del segnale, ovvero della distribuzione dell'energia nelle diverse componenti in frequenza. L'analisi è stata effettuata con risoluzione di 1 Hz, nell'intervallo compreso tra 1 e 40 Hz (per un totale di 40 bin frequenziali). Il software ha inoltre restituito per ciascun partecipante il relativo spettro di potenza, rappresentato graficamente (cfr. Figura 3).
- **Normalizzazione degli spettri:** i valori di potenza assoluta sono stati normalizzati dividendo l'intero spettro di ogni singolo canale per la media della potenza totale del canale stesso.

I dati sugli spettri sono stati salvati sotto forma di matrici formato *.txt*. In totale è stata ottenuta una matrice di spettri assoluti e una di spettri normalizzati per ogni partecipante.

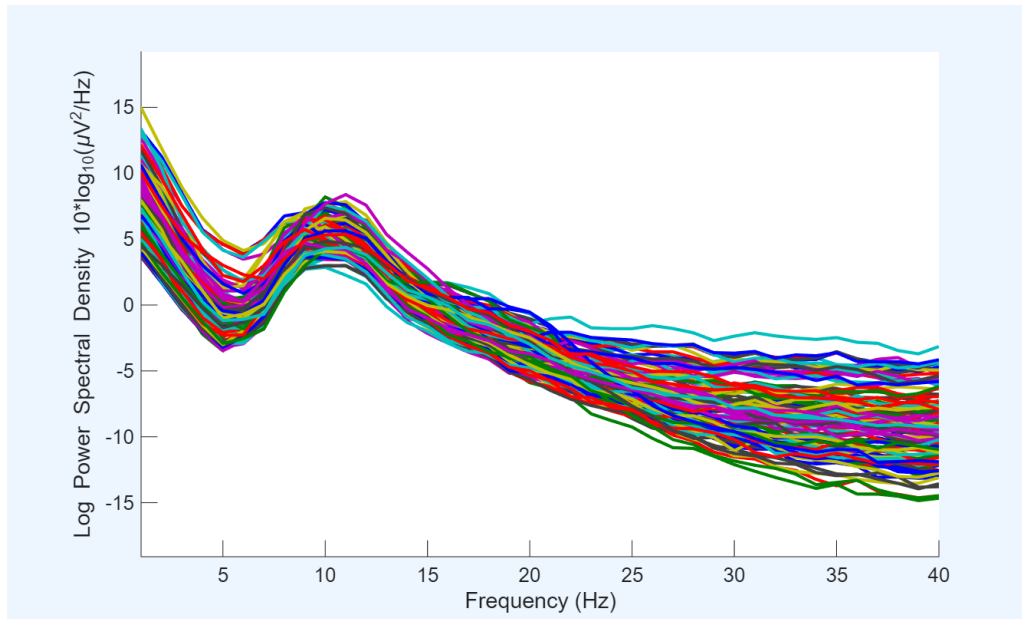


Immagine 3. Esempio di uno spettro di potenza dopo il computo della PSD.

4.5.2 Preprocessing dei dati pupillometrici

Così come per i dati elettroencefalografici, anche i dati ricavati dalle registrazioni attraverso eye-tracking hanno bisogno di passare per una fase di preprocessing finalizzata al miglioramento delle qualità del segnale e alla sua preparazione per le analisi successive. Il preprocessing dei dati pupillometrici ricavati dai 59 partecipanti mantenuti per le relative analisi si è svolto come segue (per una rassegna sull'argomento si veda Mathôt & Vilotijević, 2023):

- **Riduzione del tempo totale:** la durata del segnale analizzato è stata limitata a 70 secondi, poiché estensioni superiori introducevano un progressivo deterioramento della qualità del segnale, verosimilmente associato a fattori legati alle caratteristiche del campione, inclusa l'età dei partecipanti.
- **Esclusione dei dati mancanti:** i soggetti che presentavano più del 50% di dati pupillometrici mancanti sono stati esclusi dall'analisi.
- **Rilevazione e rimozione dei blink:** è stata applicata una pipeline di filtraggio per identificare e rimuovere i campioni di dimensione pupillare non validi (valori segnati come NA) derivati da artefatti, quali errori di sistema o *blink*. I blink sono stati identificati sulla base di variazioni anomale della velocità di dilatazione pupillare, definite come outlier rispetto alla distribuzione dei valori, utilizzando la

deviazione mediana assoluta (MAD) scalata da una costante. Sono stati poi rimossi i dati di tutti i blink di durata superiore ai 500 ms. Dopo aver rimosso gli outlier per velocità, sono stati scartati anche gli intervalli limitrofi agli outlier di 50 ms, sia prima che dopo ogni blink, per garantire una copertura completa (vedi immagine 4).

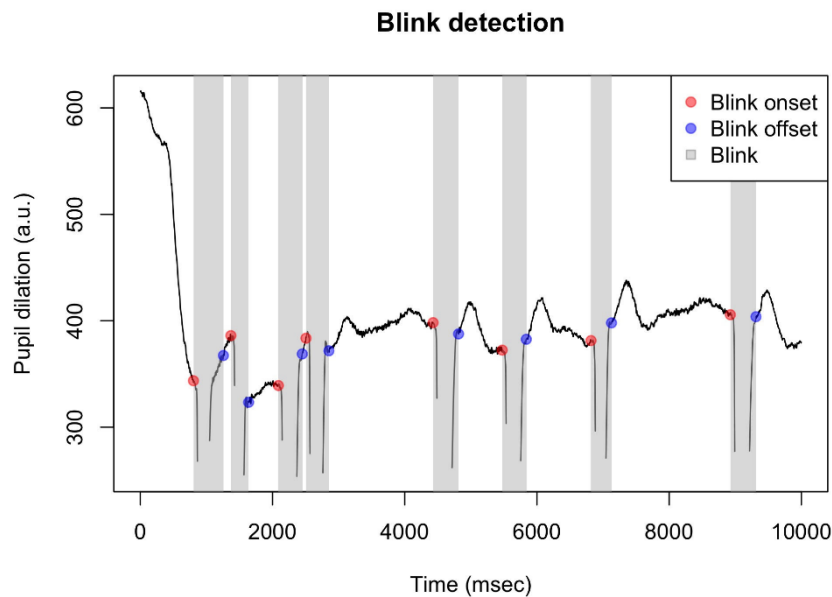


Immagine 4. *Un esempio di blink detection. I punti rossi indicano l'inizio di un blink, i punti blu la fine.*

- **Calcolo della dimensione pupillare media:** nelle registrazioni binoculari, è stata ottenuta una misura media della dimensione pupillare tramite il valore medio delle dimensioni pupillari destra e sinistra.
- **Interpolazione dei dati mancanti:** nei casi di registrazione monoculare parziale, è stata stimata la differenza di dimensione tra le pupille durante le epoche in cui il tracciamento risultava bilaterale. Tramite interpolazione, i dati sono stati poi ricostruiti per colmare i valori mancanti e ricavare la dimensione pupillare media.
- **Smoothing:** il segnale è stato sottoposto a *smoothing* mediante l'applicazione di un filtro passa-basso con frequenza di cutoff pari a 4 Hz, al fine di ridurre le fluttuazioni ad alta frequenza e ottenere una rappresentazione più stabile del segnale.

- **Allineamento temporale:** i dati sono stati temporalmente riallineati impostando a $t = 0$ ms il primo campione valido di ciascun partecipante, tramite sottrazione del *timestamp* iniziale della registrazione.
- **Sottocampionamento:** è stata ridotta la frequenza iniziale di campionamento da 1000 Hz a 100 Hz. Il segnale continuo della dimensione pupillare è stato quindi segmentato in intervalli di tempo non sovrapposti, detti *timebin*, di 50 ms. Questa procedura ha ridotto il carico computazionale, rendendo i dati più efficienti da gestire nelle analisi successive.
- **Correzione della baseline:** i primi 100 ms sono stati utilizzati per calcolare una media della dimensione pupillare di base di ogni partecipante. Questo valore di baseline è stato conseguentemente sottratto dall'andamento temporale della dimensione pupillare di ogni soggetto per correggere la differenza iniziale della dimensione della pupilla tra soggetti.
- **Rimozione dei primi 10 secondi:** la porzione iniziale del segnale (primi 10 s) è stata esclusa dall'analisi, riducendo la durata totale del tracciato da 70 s a 60 s.

4.5.3 Analisi dei punteggi alla Gudjonsson Suggestibility Scale 2

Sono state estratte le statistiche descrittive inerenti ai punteggi dei principali indici della GSS-2 sia per il campione su cui sono state condotte le analisi pupillometriche (vedi tabella 1) sia per il campione su cui sono state condotte le analisi elettroencefalografiche (vedi tabella 2). Sono stati creati due gruppi per l'analisi pupillometrica, chiamati gruppo ad Alta suggestionabilità e gruppo a Bassa suggestionabilità, divisi sulla base della mediana della distribuzione dei punteggi di Suggestionabilità totale. Su questi due gruppi sono state effettuate le analisi pupillometriche: $n = 27$ partecipanti hanno ottenuto un punteggio inferiore alla mediana (mediana = 6), mentre $n = 32$ hanno ottenuto un punteggio uguale o superiore.

La stessa procedura è stata applicata per le analisi con EEG sia per il punteggio di Suggestionabilità totale che per i punteggi di Accettazione 1, Accettazione 2 e Cambio. All'indice di Suggestionabilità totale $n = 42$ partecipanti hanno registrato punteggi inferiori alla soglia mediana (mediana = 7), mentre $n = 44$ hanno ottenuto un punteggio pari o superiore. All'indice Accettazione 1, $n = 34$ partecipanti hanno ottenuto punteggi inferiori alla mediana (mediana = 3), mentre $n = 52$ hanno ottenuto punteggi pari o

superiori. Per quanto riguarda l'indice Accettazione 2, $n = 39$ soggetti hanno ottenuto punteggi inferiori alla mediana (mediana = 5), mentre $n = 47$ hanno mostrato punteggi pari o superiori. Infine, riguardo all'indice Cambio $n = 43$ partecipanti si sono posizionati al di sotto della mediana (mediana = 2,5), mentre $n = 43$ si trovavano pari o al di sopra della soglia mediana. Il grafico mostra la distribuzione dei punteggi all'indice di Suggestionabilità totale per l'intero campione usato per le analisi (mediana = 7, vedi grafico 3).

Indici GSS-2	Richiamo differito	Accettazione 1	Accettazione 2	Cambio	Suggestionabilità totale
Mediana	14	3	5	2	6
Media	14.32	3.66	5.05	2.71	6.37
Deviazione Standard	6.05	2.67	3.2	2.15	3.99
Range	0.5 - 26.5	0 - 11	0 - 12	0 - 8	0 - 17

Tabella 1. *Statistiche descrittive dei punteggi ai principali indici della GSS-2 per il campione su cui sono state compiute le analisi pupillometriche ($n = 59$).*

Indici GSS-2	Richiamo differito	Accettazione 1	Accettazione 2	Cambio	Suggestionabilità totale
Mediana	14.5	3	5	2.5	7
Media	14.27	3.62	5.24	3.06	6.67
Deviazione Standard	5.49	2.57	3.22	2.46	3.97
Range	0.5 - 25	0 - 11	0 - 12	0 - 11	0 - 17

Tabella 2. *Statistiche descrittive dei punteggi ai principali indici della GSS-2 per il campione su cui sono state compiute le analisi elettroencefalografiche ($n = 86$).*

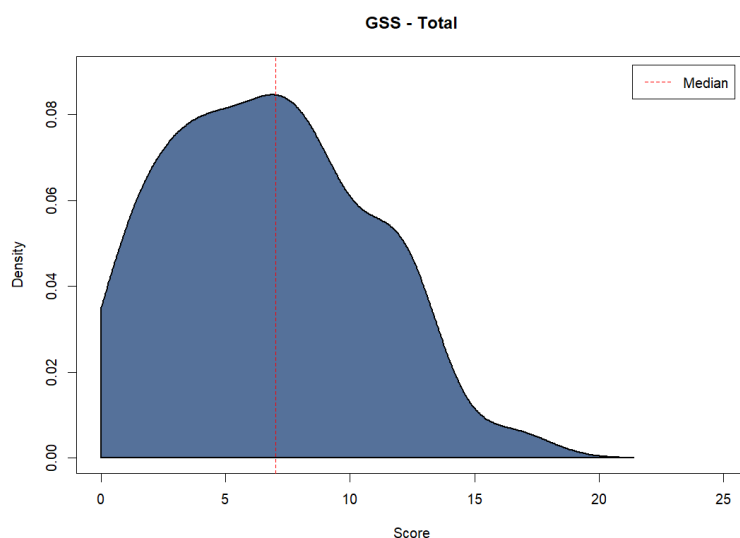


Grafico 3. *Distribuzione dei punteggi all'indice Suggestionabilità totale per il campione totale usato nelle analisi. La linea tratteggiata in rosso rappresenta la mediana della distribuzione.*

CAPITOLO 5. RISULTATI E DISCUSSIONE

5.1 Analisi

Le analisi sono state svolte su dati raccolti unicamente al primo time-point, in assenza di misure relative alla GSS-2 al secondo time-point. Per le analisi pupillometriche è stato implementato un modello lineare ad effetti misti (LMM) nel quale la variabile dipendente era rappresentata dal diametro pupillare. Come predittori sono stati inclusi il punteggio all'indice di Suggestionabilità totale della GSS-2, i timebin e l'interazione tra il punteggio GSS-2 e i timebin. Per le analisi EEG sono stati stimati quattro modelli di regressione lineare indipendenti, al fine di esaminare l'associazione tra attività elettroencefalografica e suggestionabilità interrogativa. Le variabili dipendenti corrispondevano ai punteggi di ciascun indice della GSS-2 (Suggestionabilità Totale, Accettazione 1, Accettazione 2 e Cambio). In ciascun modello, le variabili predittive erano costituite dalla potenza normalizzata delle bande EEG alfa, beta, delta e theta.

5.2 Punteggio GSS-2 e dilatazione pupillare

È stato implementato un modello lineare a effetti misti (LMM), con il diametro pupillare come variabile dipendente. I predittori inclusi nel modello erano il punteggio di Suggestionabilità totale della GSS-2, i timebin (500 ms) e l'interazione tra questi ultimi due fattori. La differenza di dimensione pupillare corretta alla baseline tra i due gruppi ad Alta e Bassa suggestionabilità si è rivelata significativa, con il gruppo ad Alta suggestionabilità che mostrava una dilatazione pupillare maggiore ($t[118, 94] = 19,85$; $p < 0,001$) (vedi grafico 4). Essendo confronti tra dati pupillari corretti per la baseline (cfr. cap. 4.5.2), questo risultato non descrive una pupilla più grande in senso assoluto, bensì una pupilla maggiormente soggetta a dilatazione nel gruppo ad Alta suggestionabilità.

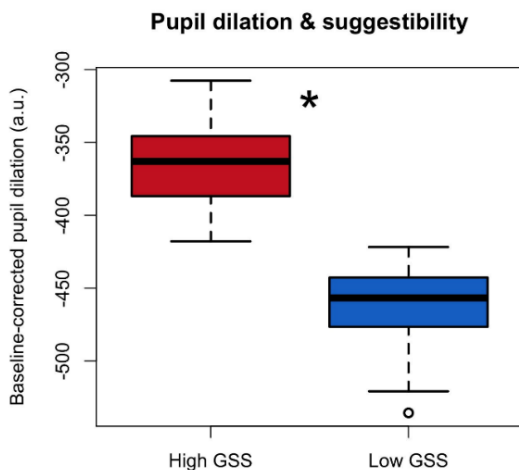


Grafico 4. Grafico rappresentante due boxplot, uno per il gruppo ad Alta suggestionabilità (in rosso) e uno per il gruppo a Bassa suggestionabilità (in blu). Sulle ascisse, la dilatazione pupillare corretta alla baseline. L'asterisco in alto indica la significatività della differenza nella dimensione pupillare tra i due gruppi.

Anche l'effetto di interazione tra punteggio all'indice di Suggestionabilità totale e timebins è risultato essere significativo ($\chi^2[59] = 13\,627,25$; $p < 0,001$) (vedi immagine 5). Ciò indica che l'andamento della dilatazione pupillare nel tempo si modifica in ogni timebin in modo dipendente dal punteggio alla GSS-2.

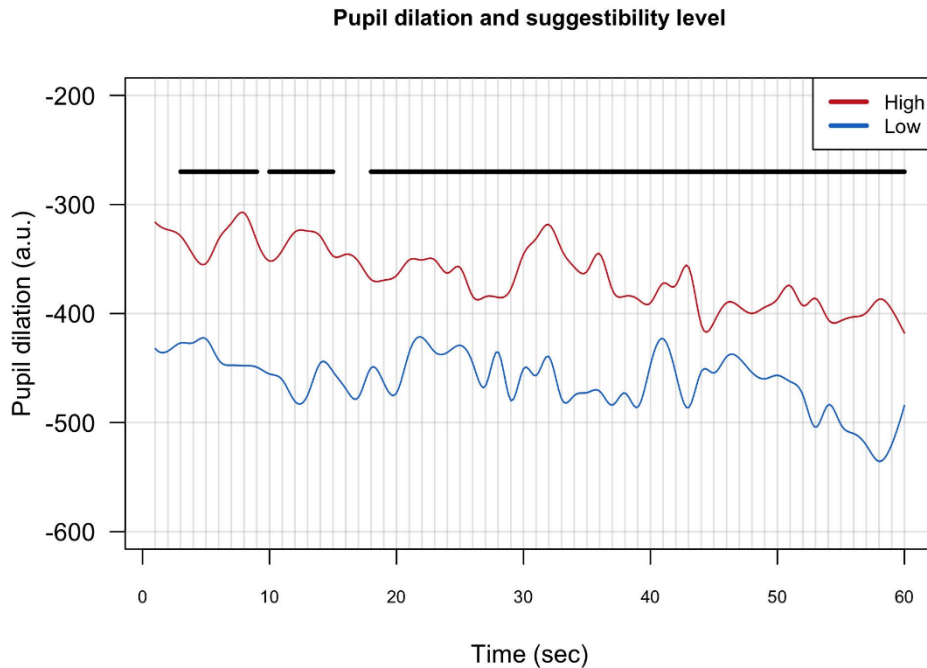


Immagine 5. Andamento temporale del segnale pupillometrico nei primi 60 secondi. Sulle ascisse è presente il tempo in s, sulle ordinate la dilatazione pupillare corretta alla baseline. La linea rossa rappresenta l'andamento del gruppo ad Alta suggestionabilità, la linea blu l'andamento del gruppo a Bassa suggestionabilità. Le linee rette nere in alto rappresentano la durata dei timebins per cui l'analisi di interazione è risultata significativa.

5.3 Punteggio GSS-2 e bande EEG

Sono state eseguite analisi di regressione lineare separate per ogni variabile dipendente: suggestionabilità totale, Accettazione 1, Accettazione 2, Cambio. I modelli hanno utilizzato come predittori l'età, il genere, il livello di istruzione e la potenza spettrale all'interno di quattro bande di frequenza EEG alfa, theta, beta e delta. Le differenze tra i gruppi sono state valutate tramite test t di Student. Le analisi non hanno evidenziato associazioni significative con il punteggio di Suggestionabilità Totale. Sono invece emerse associazioni significative tra la potenza spettrale nelle bande alfa e theta e i punteggi agli indici Accettazione 2 e Cambio.

Nello specifico, sono emerse associazioni significative tra la potenza della banda alfa e il punteggio all'indice Cambio nelle regioni occipitali ($t = 2,26$; $p < 0,05$), parietali ($t = 2,16$; $p < 0,05$) e temporali ($t = 2,13$; $p < 0,05$). Sono inoltre emerse associazioni significative tra la potenza della banda theta e il punteggio all'indice Accettazione 2 considerando l'attività sull'intero scalp (t = -2,11; $p < 0,05$), nelle regioni parietali ($t = -2,62$; $p < 0,05$) e nelle regioni occipitali ($t = -2,69$; $p < 0,05$). Non sono state osservate associazioni significative per le bande delta e beta. Complessivamente i risultati evidenziano una relazione lineare positiva tra la potenza della banda alfa e i punteggi all'indice di Cambio, nonché una relazione lineare negativa tra la potenza di banda theta e punteggi all'indice Accettazione 2 (vedi immagine 6).

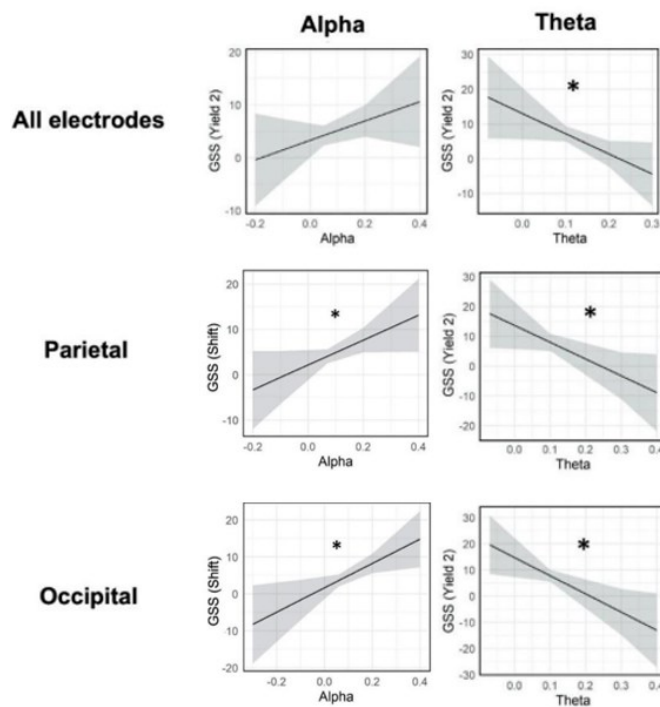


Immagine 6. Grafici delle regressioni tra bande EEG e punteggi agli indici della GSS-2. Dall'alto verso il basso e da destra verso sinistra: alfa e Accettazione 2 su tutti gli elettrodi (non significativo); theta e Accettazione 2 su tutti gli elettrodi ($t = -1,1$); alfa e Cambio su aree parietali ($t = 2,16$); theta e Accettazione 2 sulle aree parietali ($t = -2,62$); alfa e Cambio sulle aree occipitali ($t = 2,26$); theta e Accettazione 2 sulle aree occipitali ($t = -2,69$).

5.4 Discussione dei risultati

L'obiettivo di questo lavoro era di identificare specifici marcatori neurofisiologici legati alla suggestionabilità interrogativa. A tal fine sono state acquisite misurazioni elettroencefalografiche e pupillometriche raccolte in condizioni di riposo. L'interpretazione della possibile relazione tra tali misure e la suggestionabilità è stata inquadrata all'interno della Teoria del Carico Cognitivo, ipotizzando che i partecipanti maggiormente suggestionabili, come misurato dalla GSS-2, presentassero un maggior livello di carico cognitivo estraneo a riposo. Sotto questa prospettiva, una condizione di

maggior carico cognitivo a riposo avrebbe dovuto accompagnarsi a una diminuzione dell'attività di banda alfa, a un aumento dell'attività di banda theta e a un aumento della dimensione del diametro pupillare.

I risultati hanno in parte confermato e in parte disatteso le ipotesi. In linea con le previsioni, è emersa una relazione significativa tra diametro pupillare e punteggio all'indice di Suggestionabilità totale. Infatti, i partecipanti appartenenti al gruppo ad Alta suggestionabilità hanno mostrato una maggiore dilatazione pupillare a riposo (rispetto alla baseline). Diversamente da quanto ipotizzato, non sono state osservate associazioni significative tra il punteggio di Suggestionabilità totale e la potenza delle bande alfa e theta. Le analisi EEG hanno tuttavia evidenziato una relazione negativa tra i punteggi all'indice Accettazione 2 e la potenza della banda theta; nonché una relazione positiva tra i punteggi all'indice Cambio e la potenza della banda alfa. Nel complesso, questi risultati suggeriscono che la Teoria del Carico Cognitivo, pur offrendo una cornice interpretativa utile per comprendere l'associazione osservata tra suggestionabilità e diametro pupillare, non sia sufficiente a spiegare l'intero pattern di risultati emerso dalle analisi neurofisiologiche. Conseguentemente, l'interpretazione dei dati psicofisiologici legati alla suggestionabilità richiede il superamento delle premesse fondate esclusivamente sulla Teoria del Carico Cognitivo. L'analisi congiunta dei marcatori EEG e pupillometrici evidenzia come la suscettibilità alle domande fuorvianti sia probabilmente governata da un'interazione complessa di fattori psicologici e fisiologici; la possibile influenza di alcuni di questi verrà approfondita di seguito.

Il risultato più robusto emerso dalle analisi riguarda la maggiore dilatazione pupillare nel gruppo ad Alta suggestionabilità. In linea con la CLT, questo fenomeno è stato interpretato come espressione di un elevato stato di arousal e di carico cognitivo basale (Alm et al., 2019). Tuttavia, dato che le ipotesi in merito all'EEG sono state disattese, anche la marcata dilatazione pupillare riscontrata potrebbe richiedere una cornice interpretativa ulteriore. Una possibile spiegazione alternativa è offerta dai processi di degenerazione del sistema noradrenergico dovuti all'invecchiamento. Infatti, negli individui anziani, la perdita neuronale a livello del locus coeruleus genera una prolungata e instabile attività tonica compensativa a riposo (Mather & Harley, 2016). Questa iperattività tonica di base si accompagna a una drastica riduzione dell'attività fasica di scarica, meccanismo fondamentale per orientare tempestivamente l'attenzione verso nuovi stimoli esterni

(Aston-Jones & Cohen, 2005; Kim et al., 2025). Ne consegue che il soggetto potrebbe trovarsi in uno stato di reattività alterata, fisiologicamente meno pronto a gestire le pressioni ambientali. In questa prospettiva, la maggiore dimensione pupillare osservata nei soggetti altamente suggestionabili potrebbe riflettere non tanto un incremento del carico cognitivo in senso stretto, quanto una diversa regolazione tonica del sistema noradrenergico.

Anche i risultati relativi alla banda alfa possono essere interpretati alla luce di meccanismi che vanno oltre il semplice carico cognitivo. Ad esempio, la ridotta reattività ambientale trova un riscontro diretto nei tracciati EEG, specificamente nell'attività in banda alfa, plausibilmente legata alle strategie di coping. Le strategie di coping sono riconosciute essere fattori influenzanti la suggestionabilità dallo stesso modello di Gudjonsson-Clark (1986) (cfr. cap. 1.2.2), secondo il quale adottare le strategie denominate “attive-cognitive” (*active-cognitive*) o “attive-comportamentali” (*active-behavioural*) è un atteggiamento protettivo nei confronti della suggestionabilità, poiché renderebbero l'individuo più pronò ad analizzare criticamente e confrontare la situazione di pressione interrogativa (Gudjonsson, 2002). Al contrario, strategie dette di “evitamento” (*avoidance coping*) predispongono ad un aumentata suggestionabilità: esse sono caratterizzate dall'utilizzo di risposte apparentemente plausibili e consistenti con le suggestioni esterne, e dalla tendenza a non rispondere in modo dicotomico alle domande poste ma con locuzioni di dubbio (Gudjonsson, 2002).

Alcune evidenze neurofisiologiche sembrano coerenti con questa interpretazione. Ad esempio, in uno studio di Allegretta e colleghi (2024), l'attività EEG è stata registrata durante lo svolgimento di un compito di stress psicosociale attivo (il *Trier Social Stress Test*, Allen et al., 2016). Gli autori hanno riscontrato una maggiore attività di banda alfa temporo-centrale e parieto-occipitale in quei partecipanti che utilizzavano strategie di coping di tipo enterocettivo, ossia si focalizzavano più sul proprio stato interno che sugli stimoli esterni. Gli autori hanno interpretato tale pattern come un meccanismo di protezione dallo stress e di regolazione delle risorse attentive. (Allegretta et al., 2024). Parallelamente, altri studi hanno associato, un'elevata potenza alfa di base in stato di resting state a stati di personalità vulnerabili, depressione e una generale tendenza cronica alla passività (Olbrich & Arns, 2013; Surova et al., 2020). L'aumento di attività alfa è stato legato alla disconnessione tra gli stati interni e gli stimoli esterni, ad uno

sbilanciamento dell'attenzione verso gli stati interni e ai fenomeni di *gating* sensoriale, ossia di inibizione dell'informazione esterna (Jensen & Mazaheri, 2010). Nella presente ricerca, l'attività alfa è risultata correlare positivamente con il punteggio all'indice di Cambio. Seguendo tale prospettiva, è possibile ipotizzare che una maggiore attività alfa a riposo, in particolare nelle regioni parietali e occipitali, rifletta una tendenza a privilegiare l'elaborazione di stati interni rispetto alle informazioni provenienti dall'ambiente. Questo potrebbe ridurre la capacità di valutare criticamente i feedback ricevuti e favorire la modifica delle risposte iniziali, contribuendo così a punteggi più elevati nell'indice di Cambio.

Sempre Allegretta e colleghi (2024) hanno evidenziato una correlazione positiva tra attività theta nelle regioni posteriori e il controllo esecutivo top-down dei processi emotivi. In letteratura, la banda theta posteriore è stata collegata all'organizzazione dell'attività cerebrale e all'interruzione delle risposte impulsive (Haaf et al., 2024), nonché al source monitoring e alle capacità di recupero dei dettagli contestuali (Nyhus & Curran, 2010). Le abilità di source monitoring sono state associate all'attitudine di resistere alle suggestioni e costituiscono un fattore di protezione parziale di fronte alle domande suggestive (Polczyk et al., 2024b). A fronte di ciò, si potrebbe ipotizzare che la riduzione di banda theta riscontrata nei partecipanti con punteggi maggiori all'indice di Accettazione 2, rifletta una ridotta capacità di recupero delle informazioni in memoria e uno stile di risposta passiva e più impulsiva. Ciò potrebbe rendere l'individuo meno capace di resistere alle suggestioni, dubitando delle proprie risposte iniziali, e a modificare le risposte precedentemente fornite a seguito del feedback negativo. Nel complesso, i risultati suggeriscono che la suggestionabilità interrogativa non possa essere ricondotta esclusivamente a un aumento del carico cognitivo basale. Sebbene un arousal basale aumentato, indice di maggior carico cognitivo a riposo, influenzi negativamente l'abilità a resistere alle suggestioni, anche altri meccanismi neurofisiologici e psicologici potrebbero avere un peso nel determinare il livello di suggestionabilità interrogativa. Tra questi, un ruolo rilevante potrebbe essere svolto dalle alterazioni del sistema noradrenergico associate all'invecchiamento (Mather & Harley, 2016), dall'adozione di strategie di coping evitanti (Moos & Billings, 1982) e dalla difficoltà di monitoraggio della sorgente (Nyhus & Curran, 2010). Le differenze individuali in termini di suggestionabilità interrogativa sembrerebbero quindi emergere dall'interazione di

molteplici fattori, solo in parte spiegabili dalla Teoria del Carico Cognitivo in una condizione di riposo.

5.5 Limitazioni e prospettive future

La ricerca qui presentata presenta alcune limitazioni. In primo luogo, sono stati utilizzati dati e misure ottenute all'interno di un progetto di ricerca ampio e sfaccettato, il cui fine ultimo è il monitoraggio di caratteristiche individuali che possono influire sull'invecchiamento patologico. All'interno di questa cornice, da un lato la suggestionabilità rappresenta uno dei fattori che possono essere oggetto di abuso in età avanzata, dall'altro la focalizzazione unicamente sulla popolazione anziana limita certamente le conclusioni del presente studio. In secondo luogo, essendo il progetto interessato all'analisi dei movimenti oculari liberi, non era presente durante il resting state una croce o punto di fissazione. Sebbene tale scelta fosse coerente con gli obiettivi del progetto principale, l'assenza di un punto di fissazione può aver incrementato la variabilità del segnale pupillare, poiché i movimenti oculari rappresentano una potenziale fonte di artefatti e rumore sia nelle analisi EEG che nelle analisi pupillometriche (Mathôt, 2018). Un'ulteriore fonte di variabilità riguarda la somministrazione e lo scoring della GSS-2. Nel corso della raccolta dati, infatti, tre diversi sperimentatori si sono occupati della somministrazione dello strumento e altrettanti dello scoring. Sebbene tutti abbiano seguito il protocollo previsto, non si può escludere che differenze individuali nello stile di conduzione dell'intervista o nell'interpretazione delle risposte abbiano introdotto una quota di errore di misura. Le misure neurofisiologiche potrebbero essere state influenzate dallo stato psicologico del partecipante al momento dell'acquisizione. Sonnolenza, affaticamento e umore ridotto sono noti modificare sia il segnale EEG (Strijkstra et al., 2003) che la registrazione della dimensione pupillare, specialmente se il partecipante tende a chiudere le palpebre interrompendo l'identificazione della pupilla da parte dell'eye tracker (Klein & Ettinger, 2019). Nella popolazione anziana è inoltre frequente il fenomeno della ptosi palpebrale (Finsterer, 2003) e la presenza di cataratta (Asbell et al., 2005). Entrambe le condizioni interferiscono con la misurazione e possono inficiare la registrazione (Shoenfelt et al., 2025). La pupilla è inoltre particolarmente sensibile alle variazioni di luminosità dell'ambiente attraverso il riflesso pupillare alla luce (Klein & Ettinger, 2019). Nella stanza in cui sono avvenute le acquisizioni il livello di luminosità era costante; tuttavia, non è stata monitorata la luminanza ambientale mediante apposita

strumentazione. Pertanto, eventuali variazioni stagionali potrebbero aver influenzato la misurazione del diametro pupillare. Infine, una condizione che ha limitato la potenza delle analisi statistiche è stata la relativamente ridotta dimensione dei campioni, ($n = 59$ per le analisi pupillometriche e $n = 86$ per le analisi EEG). Tale caratteristica potrebbe aver ridotto la capacità di rilevare effetti di entità piccola o moderata.

A fronte di queste limitazioni, ricerche future potrebbero adottare un disegno sperimentale specificamente sviluppato per esaminare le relazioni tra suggestionabilità interrogativa, attività elettroencefalografica e diametro pupillare a riposo, standardizzando ulteriormente le procedure di somministrazione e scoring della GSS-2, affidandole preferibilmente allo stesso sperimentatore o, in alternativa, verificando sistematicamente l'accordo inter-valutatore. Sul piano delle acquisizioni pupillometriche, l'introduzione di un punto di fissazione durante il resting state consentirebbe di ridurre i movimenti oculari e la conseguente variabilità del segnale. Analogamente, il controllo rigoroso delle condizioni di illuminazione, mediante l'eliminazione delle fonti luminose esterne e il mantenimento di livelli costanti di luce tra partecipanti e sessioni, contribuirebbe ad aumentare l'affidabilità delle misure. Inoltre, sarebbe auspicabile espandere la domanda di ricerca agli stati neurofisiologici correlati alla suggestionabilità durante l'interrogatorio stesso. L'impiego di eye tracker indossabili (Yang et al., 2023) consentirebbe di verificare se le variazioni pupillari e delle bande EEG qui riscontrate si manifestino anche in condizioni dinamiche durante l'interrogatorio stesso. Infine, potrebbe risultare proficuo ampliare le analisi alla relazione tra suggestionabilità interrogativa e movimenti oculari liberi, effettuati durante un paradigma di free-viewing. Zangrossi e colleghi (2021) hanno individuato due stili di esplorazione visiva associati a due profili cognitivi differenti, chiamati "statico" o "dinamico", che hanno osservato essere correlati alla profondità dell'elaborazione cognitiva e all'impulsività. Poiché l'impulsività è stata indicata come variabile rilevante nella comprensione della suggestionabilità interrogativa (Gudjonsson, 2002), future ricerche potrebbero approfondire il contributo dei movimenti oculari spontanei a questo fenomeno. Un approccio di questo tipo consentirebbe di ampliare la prospettiva d'indagine oltre le sole misure pupillometriche, integrando ulteriori indicatori comportamentali potenzialmente informativi sui meccanismi cognitivi sottostanti la suggestionabilità.

CONCLUSIONI

L'obiettivo di questo lavoro è stato provare a tracciare un profilo neurofisiologico dell'individuo, specialmente dell'individuo anziano, che permetta di qualificare la tendenza ad essere suggestionabile e quindi maggiormente vulnerabile a pressioni esterne. Data la rilevanza del costrutto nella pratica investigativa e giudiziaria, e data la maggiore suscettibilità alle pressioni tipica di popolazioni più fragili quali gli anziani, migliorare l'identificazione di individui maggiormente suggestionabili può avere ripercussioni sia nella ricerca in psicologia forense, sia nella pratica giuridica dove misure oggettive di fragilità (pur in assenza di patologia) potrebbero contribuire alla tutela di una parte della popolazione. Laddove il fenomeno della suggestionabilità interrogativa è ampiamente noto e studiato, e gli strumenti psicodiagnostici per quantificarla sono stati sviluppati e sono ormai entrati a far parte del kit dello psicologo forense, poco è ancora chiaro circa la relazione tra suggestionabilità e funzionamento cerebrale. Le ipotesi qui presentate hanno fatto affidamento sulla Teoria del Carico Cognitivo e sulla sua influenza sullo stato di arousal, e sono state parzialmente disattese. Questi risultati indicano che per comprendere il legame tra neurofisiologia e suggestionabilità sia necessario prendere in considerazione una più ampia serie di fenomeni psicologici, quali le strategie di coping emotivo e il monitoraggio della sorgente. Ciò indubbiamente complica il quadro, ma offre anche nuove prospettive per la ricerca futura. La speranza è di riuscire, un giorno, a rendere possibile l'utilizzo di misurazioni neurofisiologiche in ambito forense per stimare la suggestionabilità, in modo da minimizzare la soggettività intrinseca nelle valutazioni classiche non fondate su marker biologici. Per fare ciò è opportuno espandere le ipotesi di ricerca ed affinare i paradigmi sperimentali, senza prescindere dalle considerazioni teoriche di stampo etico e giuridico necessarie affinché sia possibile introdurre efficacemente i metodi di misurazione neurofisiologica nella pratica forense.

BIBLIOGRAFIA

1. Allegretta, R. A., Rovelli, K., & Balconi, M. (2024). The role of emotion regulation and awareness in Psychosocial stress: an EEG-Psychometric Correlational study. *Healthcare*, 12(15), 1491.
<https://doi.org/10.3390/healthcare12151491>
2. Allen, A. P., Kennedy, P. J., Dockray, S., Cryan, J. F., Dinan, T. G., & Clarke, G. (2016). The Trier Social Stress Test: Principles and practice. *Neurobiology of Stress*, 6, 113–126. <https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2016.11.001>
3. Alm, C., Rehnberg, N. H., & Lindholm, T. (2019). Language and eyewitness suggestibility. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, 16(3), 201–212. <https://doi.org/10.1002/jip.1529>
4. Aminihaibashi, S., Hagen, T., Foldal, M. D., Laeng, B., & Espeseth, T. (2019). Individual differences in resting-state pupil size: Evidence for association between working memory capacity and pupil size variability. *International Journal of Psychophysiology*, 140, 1–7. [10.1016/j.ijpsycho.2019.03.007](https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.03.007)
5. Aoki, Y., Hata, M., Iwase, M., Ishii, R., Pascual-Marqui, R. D., Yanagisawa, T., Kishima, H., & Ikeda, M. (2022). Cortical electrical activity changes in healthy aging using EEG-eLORETA analysis. *NeuroImage: Reports*, 2(4), 100143. <https://doi.org/10.1016/j.ynirp.2022.100143>
6. Asbell, P., Dualan, I., Mindel, J., Brocks, D., Ahmad, M., & Epstein, S. (2005). Age-related cataract. *The Lancet*, 365(9459), 599–609. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)70803-5](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(05)70803-5)
7. Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). AN INTEGRATIVE THEORY OF LOCUS COERULEUS-NOREPINEPHRINE FUNCTION: Adaptive gain and optimal performance. *Annual Review of Neuroscience*, 28(1), 403–450. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.28.061604.135709>
8. Ayers, M. S., & Reder, L. M. (1998). A theoretical review of the misinformation effect: Predictions from an activation-based memory model. *Psychonomic Bulletin & Review*, 5(1), 1–21. <https://doi.org/10.3758/bf03209454>
9. Babiloni, C., Binetti, G., Cassarino, A., Forno, G. D., Del Percio, C., Ferreri, F., Ferri, R., Frisoni, G., Galderisi, S., Hirata, K., Lanuzza, B., Miniussi, C., Mucci, A., Nobili, F., Rodriguez, G., Romani, G. L., & Rossini, P. M. (2005). Sources of

- cortical rhythms in adults during physiological aging: A multicentric EEG study. *Human Brain Mapping*, 27(2), 162–172.
<https://doi.org/10.1002/hbm.20175>
10. Babiloni, C., Arakaki, X., Azami, H., Bennys, K., Blinowska, K., Bonanni, L., ... Guntekin, B. (2021). Measures of resting state EEG rhythms for clinical trials in Alzheimer's disease: recommendations of an expert panel. *Alzheimer's & Dementia*, 17(9), 1528-1553. <https://doi.org/10.1002/alz.12311>
 11. Barry, R. J., Clarke, A. R., Johnstone, S. J., Magee, C. A., & Rushby, J. A. (2007). EEG differences between eyes-closed and eyes-open resting conditions. *Clinical Neurophysiology*, 118(12), 2765–2773.
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.07.028>
 12. Barry, R. J., De Blasio, F. M., Fogarty, J. S., & Clarke, A. R. (2020). Natural alpha frequency components in resting EEG and their relation to arousal. *Clinical Neurophysiology*, 131(1), 205-212. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.10.018>
 13. Baxter, J. S., & Boon, J. C. W. (2000). Interrogative suggestibility: The importance of being earnest. *Personality and Individual Differences*, 28(4), 753–762. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(99\)00136-1](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(99)00136-1)
 14. Berger, H. (1929). Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 87(1), 527–570.
<https://doi.org/10.1007/BF01797193>
 15. Bernheim, D. (1910). *Hypnotisme et suggestion*.
 16. Bianco, A., & Curci, A. (2015). Measuring interrogative suggestibility with the Italian version of the Gudjonsson Suggestibility Scales (GSS): Factor structure and discriminant validity. *Personality and Individual Differences*, 82, 258-265.
<https://doi.org/10.1016/j.paid.2015.03.035>
 17. Biasiucci, A., Franceschiello, B., & Murray, M. M. (2019). Electroencephalography. *Current Biology*, 29(3), R80–R85.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.11.052>
 18. Binet, A. (1900). *La suggestibilité* (Vol. 3). Schleicher frères.
 19. Biondi, S., Mazza, C., Orrù, G., Monaro, M., Ferracuti, S., Ricci, E., Di Domenico, A., & Roma, P. (2020). Interrogative suggestibility in the elderly. *PLoS ONE*, 15(11), e0241353. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241353>

20. Bitsios, P., Prettyman, R., & Szabadi, E. (1996). Changes in autonomic function with age: a study of pupillary kinetics in healthy young and old people. *Age and Ageing*, 25(6), 432–438. <https://doi.org/10.1093/ageing/25.6.432>
21. Blagrove, M. (1996). Effects of length of sleep deprivation on interrogative suggestibility. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2(1), 48–59. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.2.1.48>
22. Bottesi, G., Ghisi, M., Altoè, G., Conforti, E., Melli, G., & Sica, C. (2015). The Italian version of the Depression Anxiety Stress Scales-21: Factor structure and psychometric properties on community and clinical samples. *Comprehensive psychiatry*, 60, 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2015.04.005>
23. Brokaw, K., Tishler, W., Manceor, S., Hamilton, K., Gaulden, A., Parr, E., & Wamsley, E. J. (2016). Resting state EEG correlates of memory consolidation. *Neurobiology of learning and memory*, 130, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2016.01.008>
24. Bull, F. C., Maslin, T. S., & Armstrong, T. (2009). Global physical activity questionnaire (GPAQ): nine country reliability and validity study. *Journal of Physical Activity and health*, 6(6), 790–804. <https://doi.org/10.1123/jpah.6.6.790>
25. Caffarra, P., Vezzadini, G., Dieci, F., Zonato, F., & Venneri, A. (2002a). A short version of the Stroop test: normative data in an Italian population sample. *Nuova rivista di neurologia*, 12(4), 111–115. <https://hdl.handle.net/11381/2989715>
26. Caffarra, P., Vezzadini, G., Dieci, F., Zonato, F., & Venneri, A. (2002b). Rey-Osterrieth complex figure: normative values in an Italian population sample. *Neurological sciences*, 22(6), 443–447. <https://doi.org/10.1007/s100720200003>
27. Calvo, R. A., & D'Mello, S. (2010). Affect detection: An interdisciplinary review of models, methods, and their applications. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1(1), 18–37. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2010.1>
28. Campbell, F. W. (1957). The Distance of Field of the Human Eye. *Optica Acta*, 4(4), 157–164.
29. Cantero, J. L., Atienza, M., Stickgold, R., Kahana, M. J., Madsen, J. R., & Kocsis, B. (2003). Sleep-dependent theta oscillations in the human hippocampus and neocortex. *Journal of Neuroscience*, 23(34), 10897–10903. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-34-10897.2003>

30. Carlesimo, G., Caltagirone, C., Gainotti, G., Fadda, L., Gallassi, R., Lorusso, S., Marfia, G., Marra, C., Nocentini, U., & Parnetti, L. (2008). The Mental Deterioration Battery: normative data, diagnostic reliability and qualitative analyses of cognitive impairment. *European Neurology*, 36(6), 378–384. <https://doi.org/10.1159/000117297>
31. Cavanagh, J. F., & Frank, M. J. (2014). Frontal theta as a mechanism for cognitive control. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(8), 414–421. [10.1016/j.tics.2014.04.012](https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.04.012)
32. Chen, C., Xu, S., Zhou, J., Yi, C., Yu, L., Yao, D., Zhang, Y., Li, F., & Xu, P. (2025). Resting-state EEG network variability predicts individual working memory behavior. *NeuroImage*, 310, 121120. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121120>
33. Chen, I. Y., Karabay, A., Mathôt, S., Bowman, H., & Akyürek, E. G. (2023). Concealed identity information detection with pupillometry in rapid serial visual presentation. *Psychophysiology*, 60(1), e14155. <https://doi.org/10.1111/psyp.14155>
34. Chen, W., Wang, Z., Xie, H., & Yu, W. (2007). Characterization of surface EMG signal based on fuzzy entropy. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15(2), 266–272. <https://doi.org/10.1109/tnsre.2007.897025>
35. Clare, I. C. H., Gudjonsson, G. H., Rutter, S. C., & Cross, P. (1994). The inter-rater reliability of the Gudjonsson Suggestibility Scale (Form 2). *British Journal of Clinical Psychology*, 33(3), 357–365. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8260.1994.tb01132>
36. Clarke, C., Milne, R., & Bull, R. (2011). Interviewing suspects of crime: the impact of PEACE training, supervision and the presence of a legal advisor. *Journal of Investigative Psychology and Offender Profiling*, 8(2), 149–162. <https://doi.org/10.1002/jip.144>
37. Clift, R. J. W., Rajlic, G., & Gretton, H. M. (2009). Discriminative and predictive validity of the penile plethysmograph in adolescent sex offenders. *Sexual Abuse*, 21(3), 335–362. <https://doi.org/10.1177/1079063209338491>
38. Colomb, C., Ginet, M., Wright, D., Demarchi, S., & Sadler, C. (2013). Back to the real: Efficacy and perception of a modified cognitive interview in the

- field. *Applied Cognitive Psychology*, 27(5), 574–583.
<https://doi.org/10.1002/acp.2942>
39. Cook, D. A., Castillo, R. M., Gas, B., & Artino, A. R. (2017). Measuring achievement goal motivation, mindsets and cognitive load: validation of three instruments' scores. *Medical Education*, 51(10), 1061–1074.
<https://doi.org/10.1111/medu.13405>
 40. Cook, A. E., Potts, A., Kupcova, M., Hacker, D. J., Woltz, D. J., & Kircher, J. C. (2024). Using pupillometry in the detection of deception. In *Modern Pupillometry: Cognition, Neuroscience, and Practical Applications* (pp. 349–372). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54896-3_12
 41. Costa, V. D., & Rudebeck, P. H. (2016). More than Meets the Eye: The Relationship between Pupil Size and Locus Coeruleus Activity. *Neuron*, 89(1), 8–10. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.12.031>
 42. Cota, C. I. (2025). Under pressure: The effects of stress and cognitive load on interrogative suggestibility (Publication No. 4534). Doctoral dissertation thesis, University of Texas at El Paso. ScholarWorks@UTEP Open Access Theses & Dissertations. https://scholarworks.utep.edu/open_etd/4534
 43. Crowne, D. P., & Marlowe, D. (1960). A new scale of social desirability independent of psychopathology. *Journal of Consulting Psychology*, 24(4), 349–354. <https://doi.org/10.1037/h0047358>
 44. Curcio, G., Tempesta, D., Scarlata, S., Marzano, C., Moroni, F., Rossini, P. M., Ferrara, M., & De Gennaro, L. (2013). Validity of the Italian version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI). *Neurological Sciences*, 34(4), 511–519. <https://doi.org/10.1007/s10072-012-1085-y>
 45. Das Chakladar, D., & Roy, P. P. (2024). Cognitive workload estimation using physiological measures: a review. *Cognitive neurodynamics*, 18(4), 1445–1465. <https://doi.org/10.1007/s11571-023-10051-3>
 46. Dauwels, J., Vialatte, F., & Cichocki, A. (2010). Diagnosis of Alzheimers Disease from EEG Signals: Where Are We Standing? *Current Alzheimer Research*, 7(6), 487–505. <https://doi.org/10.2174/156720510792231720>

47. Davis, M. R., McMahon, M., & Greenwood, K. M. (2004). The efficacy of mnemonic components of the cognitive interview: towards a shortened variant for time-critical investigations. *Applied Cognitive Psychology*, 19(1), 75–93. <https://doi.org/10.1002/acp.1048>
48. Diefendorf, A. R., & Dodge, R. (1908). An experimental study of the ocular reactions of the insane from photographic records. *Brain*, 31, 451–489.
49. Douglass, M. D., Bain, S. A., Cooke, D. J., & McCarthy, P. (2019). The role of self-esteem and locus-of-control in determining confession outcomes. *Personality and Individual Differences*, 147, 292–296. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2019.05.006>
50. Dukala, K., & Polczyk, R. (2013). Age and Interviewer Behavior as Predictors of Interrogative Suggestibility. *The Journals of Gerontology Series B*, 69(3), 348–355. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbt023>
51. Dustman, R. E., Shearer, D. E., & Emmerson, R. Y. (1993). EEG and event-related potentials in normal aging. *Progress in Neurobiology*, 41(4), 369–401 [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(93\)90005-D](https://doi.org/10.1016/0301-0082(93)90005-D)
52. Ellingsen, D., Wessberg, J., Chelnokova, O., Olausson, H., Laeng, B., & Leknes, S. (2013). In touch with your emotions: Oxytocin and touch change social impressions while others' facial expressions can alter touch. *Psychoneuroendocrinology*, 39, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2013.09.017>
53. Evans, F. J. (1967). Suggestibility in the normal waking state. *Psychological Bulletin*, 67(2), 114–129. <https://doi.org/10.1037/h0024086>
54. Eysenck, H. J. (1943). Suggestibility and Hysteria. *Journal of Neurology Neurosurgery & Psychiatry*, 6(1–2), 22–31. <https://doi.org/10.1136/jnnp.6.1-2.22>
55. Eysenck, H. J., & Furneaux, W. D. (1945). Primary and secondary suggestibility: An experimental and statistical study. *Journal of Experimental Psychology*, 35(6), 485–503. <https://doi.org/10.1037/h0054976>
56. Eysenck, H. J. (1947). Dimensions of personality. Routledge & Kegan Paul.
57. Eysenck, H. J., & Eysenck, S. B. G. (1975). Manual of the Eysenck Personality Questionnaire (junior & adult). Hodder and Stoughton Educational.

58. Farwell, L. A., & Donchin, E. (1991). The truth will out: interrogative polygraphy ("LiE detection") with Event-Related brain potentials. *Psychophysiology*, 28(5), 531–547. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1991.tb01990.x>
59. Farwell, L. A. (2012). Brain fingerprinting: a comprehensive tutorial review of detection of concealed information with event-related brain potentials. *Cognitive Neurodynamics*, 6(2), 115–154. <https://doi.org/10.1007/s11571-012-9192-2>
60. Finsterer, J. (2003). Ptosis: Causes, presentation, and management. *Aesthetic Plastic Surgery*, 27(3), 193–204. <https://doi.org/10.1007/s00266-003-0127-5>
61. Fisher, R. P., & Castano, N. (2008). Cognitive interview. *Encyclopedia of psychology and law*. Thousand Oaks, CA: Sage.
62. Fisher, R. P., & Geiselman, R. E. (1992). *Memory enhancing techniques for investigative interviewing: The cognitive interview*. Charles C Thomas Publisher.
63. Freeman, S. H., Kandel, R., Cruz, L., Bryant, R., Frosch, M. P., Albert, M. S., & Hyman, B. T. (2008). Preservation of Neuronal Number Despite Age-Related Cortical Brain Atrophy in Elderly Subjects Without Alzheimer Disease. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, 67(12), 1205–1212. <https://doi.org/10.1097/NEN.0b013e31818fc72f>
64. Gao, J., Ren, Y., Wang, X., Zhang, S., & Li, X. (2022). Effective connectivity in cortical networks during deception: A lie detection study based on EEG. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 26(8), 3755–3766. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2022.3172994>
65. Garland, B. (2004). *Neuroscience and the law : brain, mind, and the scales of justice*. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=396036>
66. Geiselman, R. E. (1984). Enhancement of eyewitness memory: An empirical evaluation of the cognitive interview. *Journal of Police Science and Administration*. <https://psycnet.apa.org/record/1984-25081-001>
67. Gerě, I., & Jaušvec, N. (1999). Multimedia: Differences in cognitive processes observed with EEG. *Educational technology research and development*, 47(3), 5-14. <https://doi.org/10.1007/BF02299630>

68. Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L., & Yu, D. (1997). High-resolution EEG mapping of cognitive effects of online learning and training. *Cerebral Cortex*, 7(4), 374–385. <https://doi.org/10.1093/cercor/7.4.374>
69. Gevins, A., Smith, M. E., Leong, H., McEvoy, L., Whitfield, S., Du, R., & Rush, G. (1998). Monitoring working memory load during computer-based tasks with EEG pattern recognition methods. *Human Factors the Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 40(1), 79–91. <https://doi.org/10.1518/001872098779480578>
70. Gillespie, S. M., Rotshtein, P., Chapman, H., Brown, E., Beech, A. R., & Mitchell, I. J. (2019). Pupil reactivity to emotional faces among convicted violent offenders: The role of psychopathic traits. *Journal of Abnormal Psychology*, 128(6), 622–632. <https://doi.org/10.1037/abn0000445>
71. Gilzenrat, M. S., Nieuwenhuis, S., Jepma, M., & Cohen, J. D. (2010). Pupil diameter tracks changes in control state predicted by the adaptive gain theory of locus coeruleus function. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 10(2), 252–269. <https://doi.org/10.3758/CABN.10.2.252>
72. Gnagnarella, P., Dragà, D., Misotti, A. M., Sieri, S., Spaggiari, L., Cassano, E., Baldini, F., Soldati, L., & Maisonneuve, P. (2018). Validation of a short questionnaire to record adherence to the Mediterranean diet: An Italian experience. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 28(11), 1140–1147. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2018.06.006>
73. Goldinger, S. D., & Papesh, M. H. (2012). Pupil dilation reflects the creation and retrieval of memories. *Current Directions in Psychological Science*, 21(2), 90–95. <https://doi.org/10.1177/0963721412436811>
74. Goldwater, B. C. (1972). Psychological significance of pupillary movements. *Psychological Bulletin*, 77(5), 340–355. <https://doi.org/10.1037/h0032456>
75. Grandchamp, R., Braboszcz, C., & Delorme, A. (2014). Oculometric variations during mind wandering. *Frontiers in Psychology*, 5, Article 31. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00031>

76. Griffiths, A., & Milne, B. (2013). Will it all end in tiers? Police interviews with suspects in Britain 1. In *Investigative interviewing* (pp. 167-189). Willan. <https://doi.org/10.4324/9781843926337>
77. Gudjonsson, G. H. (1983). Suggestibility, Intelligence, memory Recall and Personality: an Experimental study. *The British Journal of Psychiatry*, 142(1), 35–37. <https://doi.org/10.1192/bjp.142.1.35>
78. Gudjonsson, G. H. (1984a). A new scale of interrogative suggestibility. *Personality and Individual Differences*, 5(3), 303–314. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(84\)90069-2](https://doi.org/10.1016/0191-8869(84)90069-2)
79. Gudjonsson, G. H. (1984b). Interrogative suggestibility: Comparison between ‘False Confessors’ and ‘Deniers’ in Criminal Trials. *Medicine, Science and the Law*, 24(1), 56–60. <https://doi.org/10.1177/002580248402400109>
80. Gudjonsson, G. H. (1984c). Interrogative suggestibility and perceptual-motor performance. *Perceptual and Motor Skills*, 58(2), 671–672. <https://doi.org/10.2466/pms.1984.58.2.671>
81. Gudjonsson, G. H. (1987). A parallel form of the Gudjonsson Suggestibility Scale. *British Journal of Clinical Psychology*, 26(3), 215–221. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8260.1987.tb01348.x>
82. Gudjonsson, G. H. (1988a). Interrogative suggestibility: Its relationship with assertiveness, social-evaluative anxiety, state anxiety and method of coping. *British Journal of Clinical Psychology*, 27(2), 159–166. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8260.1988.tb00764.x>
83. Gudjonsson, G. H. (1988b). The relationship of intelligence and memory to interrogative suggestibility: The importance of range effects. *British Journal of Clinical Psychology*, 27(2), 185–187. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8260.1988.tb00772.x>
84. Gudjonsson, G. H. (1992). Interrogative suggestibility: Factor analysis of the Gudjonsson Suggestibility Scale (GSS 2). *Personality and Individual Differences*, 13(4), 479–481. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(92\)90077-3](https://doi.org/10.1016/0191-8869(92)90077-3)
85. Gudjonsson, G. H. (2002). *The Psychology of interrogations and confessions: A handbook*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470713297>

86. Gudjonsson, G. H., & Clark, N. K. (1986). Suggestibility in police interrogation: A social psychological model. *Social Behaviour*, 1(2), 83–104.
87. Gudjonsson, G. H., & Clare, I. C. (1995). The relationship between confabulation and intellectual ability, memory, interrogative suggestibility and acquiescence. *Personality and Individual Differences*, 19(3), 333–338. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(95\)00070-m](https://doi.org/10.1016/0191-8869(95)00070-m)
88. Gudjonsson, G. H., & Hilton, M. (1989). The effects of instructional manipulation on interrogative suggestibility. *Social Behaviour*, 4(3), 189–193.
89. Gudjonsson, G. H., & Singh, K. K. (1984). Interrogative suggestibility and delinquent boys: An empirical validation study. *Personality and Individual Differences*, 5(4), 425–430. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(84\)90007-2](https://doi.org/10.1016/0191-8869(84)90007-2)
90. Haaf, M., Polomac, N., Starcevic, A., Lack, M., Kellner, S., Dohrmann, A., Fuger, U., Steinmann, S., Rauh, J., Nolte, G., Mulert, C., & Leicht, G. (2024). Frontal theta oscillations during emotion regulation in people with borderline personality disorder. *BJPsych Open*, 10(2), e58. <https://doi.org/10.1192/bjo.2024.17>
91. Haj, M. E. (2024). Pupillometry as tool to assess cognitive and affective processing in aging. *Brain Disorders*, 14, 100129. <https://doi.org/10.1016/j.dscb.2024.100129>
92. Hänsdottir, I., Thorsteinsson, H. S., Kristinsdottir, H., & Ragnarsson, R. S. (1990). The effects of instructions and anxiety on interrogative suggestibility. *Personality and Individual Differences*, 11(1), 85–87. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(90\)90172-N](https://doi.org/10.1016/0191-8869(90)90172-N)
93. Heitz, R. P., Schrock, J. C., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2007). Effects of incentive on working memory capacity: Behavioral and pupillometric data. *Psychophysiology*, 45(1), 119–129. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00605.x>
94. Henry, J.D. and Crawford, J.R. (2005), The short-form version of the Depression Anxiety Stress Scales (DASS-21): Construct validity and normative data in a large non-clinical sample. *British Journal of Clinical Psychology*, 44(2), 227-239. <https://doi.org/10.1348/014466505X29657>

95. Hoerger, M., Quirk, S. W., & Weed, N. C. (2011). Development and validation of the Delaying Gratification Inventory. *Psychological Assessment*, 23(3), 725–738. <https://doi.org/10.1037/a0023286>
96. Iacono, W. G., & Ben-Shakhar, G. (2019). Current status of forensic lie detection with the comparison question technique: An update of the 2003 National Academy of Sciences report on polygraph testing. *Law and Human Behavior*, 43(1), 60–98. <https://doi.org/10.1037/lhb0000307>
97. Ienca, M., & Andorno, R. (2017). Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life Sciences, Society and Policy*, 13(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40504-017-0050-1>
98. Irving, B., Hilgendorf, L., & Irving, B. L. (1980). *Police interrogation: The psychological approach* (Vol. 1). HM Stationery Office.
99. Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: gating by inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 186. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186>
100. Jeong, J. (2004). EEG dynamics in patients with Alzheimer's disease. *Clinical Neurophysiology*, 115(7), 1490–1505. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.01.001>
101. Jerčić, P., Sennersten, C., & Lindley, C. (2018). Modeling cognitive load and physiological arousal through pupil diameter and heart rate. *Multimedia Tools and Applications*, 79(5–6), 3145–3159. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6518-z>
102. Johnson, M. K., Hashtroudi, S., & Lindsay, D. S. (1993). Source monitoring. *Psychological Bulletin*, 114(1), 3–28. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.1.3>
103. Kafkas, A., & Montaldi, D. (2011). Recognition Memory Strength is Predicted by Pupillary Responses at Encoding While Fixation Patterns Distinguish Recollection from Familiarity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 64(10), 1971–1989. <https://doi.org/10.1080/17470218.2011.588335>
104. Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1998). Levels of expertise and instructional design. *Human factors*, 40(1), 1–17. <https://doi.org/10.1518/001872098779480587>

105. Kang, J., Bae, J., & Jeon, Y. (2024). Age-Related Characteristics of Resting-State Electroencephalographic Signals and the corresponding analytic Approaches: A review. *Bioengineering*, 11(5), 418.
<https://doi.org/10.3390/bioengineering11050418>
106. Kassin, S. M. (1997). The psychology of confession evidence. *American Psychologist*, 52(3), 221–233. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.52.3.221>
107. Kassin, S. M., Drizin, S. A., Grisso, T., Gudjonsson, G. H., Leo, R. A., & Redlich, A. D. (2010). Police-induced confessions: Risk factors and recommendations. *Law and Human Behavior*, 34(1), 3–38.
<https://doi.org/10.1007/s10979-009-9188-6>
108. Kassin, S. M., Redlich, A. D., Alceste, F., & Luke, T. J. (2018). On the general acceptance of confessions research: Opinions of the scientific community. *American Psychologist*, 73(1), 63–80. <https://doi.org/10.1037/amp0000141>
109. Kim, A. J., Morales, S., Senior, J., & Mather, M. (2025). Electroencephalography, pupillometry, and behavioral evidence for locus coeruleus-noradrenaline system related tonic hyperactivity in older adults. *bioRxiv (Cold Spring Harbor Laboratory)*.
<https://doi.org/10.1101/2025.10.02.680040>
110. Klein, C., & Ettinger, U. (2019). Eye movement research. In *Studies in neuroscience, psychology and behavioral economics*.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5>
111. Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2–3), 169–195. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(98)00056-3)
112. Klimesch, W., Schimke, H., & Pfurtscheller, G. (1993). Alpha frequency, cognitive load and memory performance. *Brain Topography*, 5(3), 241–251. <https://doi.org/10.1007/bf01128991>
113. Koerber, S., & Park, B. (2026). When arousal meets cognitive load: affective arousal and germane processing in a Stroop-like task. *Frontiers in Psychology*, 17, 1804728. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1804728>
114. Krech, D., & Crutchfield, R. S. (1948). *Theory and problems of social psychology*. McGraw-Hill.

115. Larson, J. A. (1922). Modification of the Marston deception test. *Journal of the American Institute of Criminal Law and Criminology*, 12(3), 390–399.
116. Leal, G., Neves, C., & Vieira, P. M. (2012). Pupillometry: development of equipment for studies of autonomic nervous system. In *IFIP International Federation for Information Processing/IFIP* (pp. 553-562). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28255-3_61
117. Leo, R. A. (2008). *Police interrogation and American justice*. Harvard University Press.
118. Liang, Z., Delvecchio, E., Lis, A., & Mazzeschi, C. (2023). Italian Validation of the Delaying Gratification Inventory in Adolescents. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(15), 6527. <https://doi.org/10.3390/ijerph20156527>
119. Liebman, J. I., McKinley-Pace, M. J., Leonard, A. M., Sheesley, L. A., Gallant, C. L., Renkey, M. E., & Lehman, E. B. (2002). Cognitive and psychosocial correlates of adults' eyewitness accuracy and suggestibility. *Personality and Individual Differences*, 33(1), 49–66. [https://doi.org/10.1016/s0191-8869\(01\)00135-0](https://doi.org/10.1016/s0191-8869(01)00135-0)
120. Lindsay, D. S., & Johnson, M. K. (1989). The eyewitness suggestibility effect and memory for source. *Memory & Cognition*, 17(3), 349–358. <https://doi.org/10.3758/bf03198473>
121. Liu, H., Wang, J., Xin, X., Wang, P., Jiang, W., & Meng, T. (2024). The relationship and pathways between resting-state EEG, physical function, and cognitive function in older adults. *BMC Geriatrics*, 24(1), article 463. <https://doi.org/10.1186/s12877-024-05041-x>
122. Loewenfeld, I. E., & Lowenstein, O. (1993). *The Pupil: Anatomy, Physiology, and Clinical Applications*. Wayne State University Press.
123. Loftus, E. F., Miller, D. G., & Burns, H. J. (1978). Semantic integration of verbal information into a visual memory. *Journal of experimental psychology: Human learning and memory*, 4(1), 19. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.4.1.19>
124. Lowenstein, O., & Loewenfeld, I. E. (1962). The pupil. In H. Davson (Ed.), *The eye: Muscular mechanisms* (Vol. 3). Academic Press.

125. Magni, E., Binetti, G., Bianchetti, A., Rozzini, R., & Trabucchi, M. (1996). Mini-Mental State Examination: a normative study in Italian elderly population. *European Journal of Neurology*, 3(3), 198–202. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.1996.tb00423.x>
126. Mathôt S. (2018). Pupillometry: psychology, physiology, and function. *Journal of cognition*, 1(1), 16. <https://doi.org/10.5334/joc.18>
127. Mathôt, S., & Vilotijević, A. (2023). Methods in cognitive pupillometry: Design, preprocessing, and statistical analysis. *Behavior research methods*, 55(6), 3055- 3077. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01957-7>
128. Mather, M., & Harley, C. W. (2016). The locus coeruleus: essential for maintaining cognitive function and the aging brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(3), 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.01.001>
129. McCloskey, M., & Zaragoza, M. (1985). Misleading post event information and memory for events: arguments and evidence against memory impairment hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114(1), 1. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.114.1.1>
130. McDougall, W. (1908). *An introduction to social psychology*. Methuen & Co.
131. McDougal, D. H., & Gamlin, P. D. (2015). Autonomic control of the eye. *Comprehensive Physiology*, 5(1), 439–473. <https://doi.org/10.1002/j.2040-4603.2015.tb00603.x>
132. McEvoy, L. K., Smith, M. E., & Gevins, A. (1998). Dynamic cortical networks of verbal and spatial working memory: effects of memory load and task practice. *Cerebral cortex*, 8(7), 563-574. <https://doi.org/10.1093/cercor/8.7.563>
133. Meissner, C. A., Redlich, A. D., Bhatt, S., & Brandon, S. (2012). Interview and interrogation methods and their effects on true and false confessions. *Campbell Systematic Reviews*, 8(1), 1–53. <https://doi.org/10.4073/csr.2012.13>
134. Mello, E. W., & Fisher, R. P. (1996). Enhancing older adult eyewitness memory with the cognitive interview. *Applied cognitive psychology*, 10(5), 403-417. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199610\)10:5<403::AID-ACP395>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199610)10:5<403::AID-ACP395>3.0.CO;2-X)

135. Memon, A., & Higham, P. A. (1999). A review of the cognitive interview. *Psychology, Crime and Law*, 5(1-2), 177-196.
<https://doi.org/10.1080/10683169908415000>
136. Memon, A., Meissner, C. A., & Fraser, J. (2010). The Cognitive Interview: A meta-analytic review and study space analysis of the past 25 years. *Psychology Public Policy and Law*, 16(4), 340–372. <https://doi.org/10.1037/a0020518>
137. Milgram, S. (1974). *Obedience to authority: An experimental view*. Tavistock Publications.
138. Monaco, M., Costa, A., Caltagirone, C., & Carlesimo, G. A. (2012). Forward and backward span for verbal and visuo-spatial data: standardization and normative data from an Italian adult population. *Neurological Sciences*, 34(5), 749-754. <https://doi.org/10.1007/s10072-012-1130-x>
139. Mondini, S., Mapelli, D., Vestri, A., Arcara, G., & Bisiacchi, P. (2011). *Esame Neuropsicologico Breve 2 (ENB-2)*. Raffaello Cortina Editore.
140. Mondini, S., Pucci, V., Pastore, M., Gaggi, O., Tricomi, P. P., & Nucci, M. (2023). s-CRIq: the online short version of the Cognitive Reserve Index Questionnaire. *Aging Clinical and Experimental Research*, 35(12), 2903–2910. <https://doi.org/10.1007/s40520-023-02561-1>
141. Moos, R. H., & Billings, A. G. (1982). Conceptualizing and measuring coping resources and processes. In L. Goldberger & S. Breznitz (Eds.), *Handbook of stress: Theoretical and clinical aspects* (pp. 212–230). Free Press
142. Moray, N. (1979). Models and measures of mental workload. In *Mental workload: Its theory and measurement* (pp. 13-21). Boston, MA: Springer US.
https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0884-4_2
143. Moreno, R., & Park, B. (2012). Cognitive load theory: Historical development and relation to other theories. In J. L. Plass, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive Load Theory* (pp. 9–28). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511844744.003>
144. Mueller-Johnson, K., & Ceci S. J. (2004). Memory and suggestibility in older adults: Live event participation and repeated interview. *Applied Cognitive Psychology*, 18(8), 1109–1127. <https://doi.org/10.1002/acp.1078>

145. Murphy, P.R., Robertson, I.H., Balsters, J.H. and O'connell, R.G. (2011). Pupillometry and P3 index the locus coeruleus–noradrenergic arousal function in humans. *Psychophysiology*, 48(11), 1532-1543. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01226.x>
146. Naber, M., & Nakayama, K. (2013). Pupil responses to high-level image content. *Journal of Vision*, 13(6), 7, 1–8. <https://doi.org/10.1167/13.6.7>
147. Nyhus, E., & Curran, T. (2010). Functional role of gamma and theta oscillations in episodic memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1023–1035. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.014>
148. Olbrich, S., & Arns, M. (2013). EEG biomarkers in major depressive disorder: Discriminative power and prediction of treatment response. *International Review of Psychiatry*, 25(5), 604–618. <https://doi.org/10.3109/09540261.2013.816269>
149. Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & Van Gerven, P. W. (2016). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. In *Cognitive load theory* (pp. 63-71). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203764770>
150. Papesh, H. M., & Goldinger, S., D. (2024). *Modern Pupillometry. Cognition, Neuroscience, and Practical Applications*. Springer Nature.
151. Pavlidis, I., Eberhardt, N. L., & Levine, J. A. (2002). Seeing through the face of deception. *Nature*, 415(6867), 35. <https://doi.org/10.1038/415035a>
152. Peysakhovich, V., Causse, M., Scannella, S., & Dehais, F. (2015). Frequency analysis of a task-evoked pupillary response: Luminance-independent measure of mental effort. *International Journal of Psychophysiology*, 97(1), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.04.019>
153. Piquado, T., Isaacowitz, D., & Wingfield, A. (2010). Pupillometry as a measure of cognitive effort in younger and older adults. *Psychophysiology*, 47(3), 560-569. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00947.x>
154. Pirani, A., Tulipani, C., & Neri, M. (2006). *Italian translation of MoCA test and of its instructions*. <http://www.mocatest.org>

155. Piu, P., Serchi, V., Rosini, F., & Rufa, A. (2019). A Cross-Recurrence analysis of the pupil size fluctuations in steady scotopic conditions. *Frontiers in neuroscience*, 13, 407. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00407>
156. Plass, J. L., & Kalyuga, S. (2019). Four ways of considering emotion in Cognitive Load Theory. *Educational Psychology Review*, 31(2), 339–359. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09473-5>
157. Plummer, S. D. P. (2022). Detecting Feigned Cognitive Impairment Using Pupillometry on the Warrington Recognition Memory Test for Words. Doctoral dissertation thesis. Wayne State University.
158. Podvalny, E., King, L. E., & He, B. J. (2021). Spectral signature and behavioral consequence of spontaneous shifts of pupil-linked arousal in human. *eLife*, 10. <https://doi.org/10.7554/eLife.68265>
159. Poe, G. R., Foote, S., Eschenko, O., Johansen, J. P., Bouret, S., Aston-Jones, G., Harley, C. W., Manahan-Vaughan, D., Weinshenker, D., Valentino, R., Berridge, C., Chandler, D. J., Waterhouse, B., & Sara, S. J. (2020). Locus coeruleus: a new look at the blue spot. *Nature Reviews. Neuroscience*, 21(11), 644–659. <https://doi.org/10.1038/s41583-020-0360-9>
160. Polczyk, R., Wesołowska, B., Gabarczyk, A., Minakowska, I., Supska, M., & Bomba, E. (2004). Age differences in interrogative suggestibility: A comparison between young and older adults. *Applied Cognitive Psychology*, 18(8), 1097–1107. <https://doi.org/10.1002/acp.1073>
161. Polczyk, R., Kuczek, M., Dudek, I., Maksymiuk, R., & Szpitalak, M. (2024a). Interrogative Suggestibility Revisited: An Analysis of Its Mechanisms, Correlates, and Methods of Reduction. *Polish Psychological Bulletin*, 55, 47-66. <https://orcid.org/0000000349285556>
162. Polczyk, R., Szpitalak, M., Kuczek, M., Maksymiuk, R., & Dudek, I. (2024b). Interrogative suggestibility: The role of source monitoring, compliance, and memory in the context of minimally leading questions. *Personality and Individual Differences*, 222, 112583. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2024.112583>
163. Polich, J. (1997). EEG and ERP assessment of normal aging. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 104(3), 244–256. [https://doi.org/10.1016/S0168-5597\(97\)96139-6](https://doi.org/10.1016/S0168-5597(97)96139-6)

164. Powers, P. A., Andriks, J. L., & Loftus, E. F. (1979). Eyewitness accounts of females and males. *Journal of Applied Psychology*, 64(3), 339. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.64.3.339>
165. Reeves, P. (1920). The response of the average pupil to various intensities of light. *Journal of the Optical Society of America*, 4(2), 35. <https://doi.org/10.1364/josa.4.000035>
166. Richardson, G., Gudjonsson, G. H., & Kelly, T. P. (1995). Interrogative suggestibility in an adolescent forensic population. *Journal of Adolescence*, 18(2), 211–216. <https://doi.org/10.1006/jado.1995.1014>
167. Richardson, G., & Smith, P. (1993). The inter-rater reliability of the Gudjonsson Suggestibility Scale. *Personality and Individual Differences*, 14(1), 251–253. [https://doi.org/10.1016/0191-8869\(93\)90197-B](https://doi.org/10.1016/0191-8869(93)90197-B)
168. Ridley, A. M., Gabbert, F., & La Rooy, D. J. (2013). *Suggestibility in legal contexts: Psychological research and forensic implications*. John Wiley & Sons.
169. Roediger, H. L. III, & Geraci, L. (2007). Aging and the misinformation effect: a neuropsychological analysis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(2), 321-334. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.2.321>
170. Rogers, R., & Bender, S. D. (Eds.). (2020). *Clinical assessment of malingering and deception*. Guilford Publications.
171. Sabio, J., Williams, N. S., McArthur, G. M., & Badcock, N. A. (2024). A scoping review on the use of consumer-grade EEG devices for research. *PLoS ONE*, 19(3), e0291186. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291186>
172. Saetti, M. C., Difonzo, T., Negri, L., Zago, S., & Rassiga, C. (2021). The paced auditory serial addition task (PASAT): normative data for the Italian population. *Neuropsychological Trends*, 29, 65-82. <https://dx.doi.org/10.7358/neur-2021-029-saet>
173. Sanei, S., & Chambers, J. A. (2013). *EEG signal processing*. John Wiley & Sons.
174. Sartori, G. (2021). *La memoria del testimone: dati scientifici utili a magistrati, avvocati e consulenti*. Giuffrè Francis Lefebvre.

175. Schmidtke, J. (2014). Second language experience modulates word retrieval effort in bilinguals: *Frontiers in Psychology*, 5, 137. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00137>
176. Schomer, D. L., & Da Silva, F. L. (2012). *Niedermeyer's Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields*. <https://doi.org/10.1093/med/9780190228484.001.0001>
177. Schumann, A., Kietzer, S., Ebel, J., & Bär, K. J. (2020). Sympathetic and parasympathetic modulation of pupillary unrest. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 178. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00178>
178. Scullin, M. H., & Ceci, S. J. (2001). A suggestibility scale for children. *Personality and Individual Differences*, 30(5), 843–856. [https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(00\)00077-5](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(00)00077-5)
179. Sharrock, R., & Gudjonsson, G. H. (1993). Intelligence, previous convictions and interrogative suggestibility: A path analysis of alleged false-confession case. *British Journal of Clinical Psychology*, 32(2), 169–175. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8260.1993.tb01041.x>
180. Shepherd, E., & Griffiths, A. (2021). Investigative interviewing. In *Oxford University Press eBooks*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780192843692.001.0001>
181. Shoenfelt, A., Isaacowitz, D. M., & Ebner, N. C. (2025). Eye tracking in aging: challenges, best practices, and novel frontiers. *ACM Transactions on Applied Perception*. <https://doi.org/10.1145/3733834>
182. Sigurdsson, E., Gudjonsson, G. H., Kolbeinsson, H., & Petursson, H. (1994). The effects of electroconvulsive therapy and depression on confabulation, memory processing, and suggestibility. *Nordic Journal of Psychiatry*, 48(6), 443–451. <https://doi.org/10.3109/08039489409078163>
183. Smyth, C. (1999). The Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI). *Journal of Gerontological Nursing*, 25(12), 10. <https://doi.org/10.3928/0098-9134-19991201-10>
184. Spinnler, H. (1987). Standardizzazione e taratura italiana di test neuropsicologici. *Ital J Neurol Sci*, 6, 21-120.

185. Stern, W. (1910). Abstracts of lectures on the psychology of testimony and on the study of individuality. *The American Journal of Psychology*, 21(2), 270. <https://doi.org/10.2307/1413003>
186. Stocchi, F. (2025). *Neuroscienze e applicazioni in ambito forense: profili filosofici ed etico-giuridici*. Giappichelli. <https://hdl.handle.net/10281/550861>
187. Strijkstra, A. M., Beersma, D. G., Drayer, B., Halbesma, N., & Daan, S. (2003). Subjective sleepiness correlates negatively with global alpha (8–12 Hz) and positively with central frontal theta (4–8 Hz) frequencies in the human resting awake electroencephalogram. *Neuroscience Letters*, 340(1), 17–20. [https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(03\)00033-8](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(03)00033-8)
188. Stukat, K. G. (1958). *Suggestibility: A factorial and experimental analysis*. Almqvist & Wiksell.
189. Surova, G., Ulke, C., Schmidt, F. M., Hensch, T., Sander, C., & Hegerl, U. (2020). Fatigue and brain arousal in patients with major depressive disorder. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 271(3), 527–536. <https://doi.org/10.1007/s00406-020-01216-w>
190. Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive science*, 12(2), 257-285. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90023-7](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90023-7)
191. Sweller, J. (1993). Some cognitive processes and their consequences for the organisation and presentation of information. *Australian Journal of psychology*, 45(1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/00049539308259112>
192. Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and instruction*, 12(3), 185-233. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1203_1
193. Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
194. Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1–16. <https://www.jstor.org/stable/48727426>

195. Talevska, V., & Talevska, A. (2021). EEG ABNORMALITIES IN FORENSIC PATIENTS. *KNOWLEDGE-International Journal*, 47(4), 649-653. <https://ojs.ikm.mk/index.php/kij/article/view/4834>
196. Talin, C. (2025). *Exploring cerebral and pupillometric markers of suggestibility in healthy elderly individuals: forensic implications*. <https://hdl.handle.net/20.500.12608/100339>
197. Tapper, A., Gonzalez, D., Nouredanesh, M., & Niechwiej-Szwedo, E. (2021). Pupillometry provides a psychophysiological index of arousal level and cognitive effort during the performance of a visual-auditory dual-task in individuals with a history of concussion. *Vision Research*, 184, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2021.03.011>
198. Teigen, K. H. (1994). Yerkes-Dodson: A law for all seasons. *Theory & Psychology*, 4(4), 525-547. <https://doi.org/10.1177/0959354394044004>
199. Tekin, K., Sekeroglu, M. A., Kiziltoprak, H., Doguizi, S., Inanc, M., & Yilmazbas, P. (2018). Static and dynamic pupillometry data of healthy individuals. *Clinical and Experimental Optometry*, 101(5), 659-665. <https://doi.org/10.1111/cxo.12659>
200. Trübutschek, D., Yang, Y.-F., Gianelli, C., Cesnaite, E., Fischer, N. L., Vinding, M. C., Marshall, T. R., Algermissen, J., Pascarella, A., Puoliväli, T., Vitale, A., Busch, N. A., & Nilsonne, G. (2024). EEGManyPipelines: A large-scale, grassroots multi-analyst study of electroencephalography analysis practices in the wild. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 36(2), 217-224. https://doi.org/10.1162/jocn_a_02087
201. Tsukahara, J. S., Harrison, T. L., & Engle, R. W. (2016). The relationship between baseline pupil size and intelligence. *Cognitive Psychology*, 91, 109-123. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2016.10.001>
202. Urrestilla, N., & St-Onge, D. (2020). Measuring cognitive load: heart-rate variability and pupillometry assessment. *Companion Publication of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction*, 405-410. <https://doi.org/10.1145/3395035.3425203>

203. Vagni, M., Maiorano, T., Giostra, V., Pajardi, D., & Bull, R. (2025). The relationship between coping strategies, resistant responses, and suggestibility in children. *Psychology, Crime & Law*, 1-25.
<https://doi.org/10.1080/1068316X.2025.2466092>
204. Van Kerkoerle, T., Self, M. W., Dagnino, B., Gariel-Mathis, M. A., Poort, J., Van Der Togt, C., & Roelfsema, P. R. (2014). Alpha and gamma oscillations characterize feedback and feedforward processing in monkey visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(40), 14332-14341.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1402773111>
205. Warren, A., Hulse-Trotter, K., & Tubbs, E. C. (1991). Inducing resistance to suggestibility in children. *Law and Human Behavior*, 15(3), 273–285.
<https://doi.org/10.1007/BF01061713>
206. West, E., & Meterko, V. (2015). Innocence Project: DNA exonerations, 1989–2014: Review of data and findings from the first 325 DNA exonerations. *Albany Law Review*, 79(3), 717–795.
207. Wilcoxson, R., Browne, M., Brooks, N., & Duckett, P. (2024). EEG lie detection evidence and potential Australian jurors. *Journal of Police and Criminal Psychology*, 40(1), 42–54. <https://doi.org/10.1007/s11896-024-09670-1>
208. Winn, B., Whitaker, D., Elliott, D. B., & Phillips, N. J. (1994). Factors affecting light-adapted pupil size in normal human subjects. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 35(3), 1132–1137.
209. Winston, M., Zhou, A., Rand, C. M., Dunne, E. C., Warner, J. J., Volpe, L. J., Pigneri, B. A., Simon, D., Bielawiec, T., Gordon, S. C., Vitez, S. F., Charnay, A., Joza, S., Kelly, K., Panicker, C., Rizvydeen, S., Niewijk, G., Coleman, C., Scher, B. J., . . . Weese-Mayer, D. E. (2019). Pupillometry measures of autonomic nervous system regulation with advancing age in a healthy pediatric cohort. *Clinical Autonomic Research*, 30(1), 43–51.
<https://doi.org/10.1007/s10286-019-00639-3>
210. Wong, Y. S., Pye, R., & Chung, K. L. (2024). The roles of interviewing conditions and individual differences in memory and suggestibility: An online interview study. *Applied Cognitive Psychology*, 38(4).
<https://doi.org/10.1002/acp.4231>

211. Wright, A. M., & Holliday, R. E. (2006). Enhancing the recall of young, young-old and old-old adults with cognitive interviews. *Applied Cognitive Psychology*, 21(1), 19–43. <https://doi.org/10.1002/acp.1260>
212. Wright, A. M. & Holliday, R. E. (2007). Interviewing cognitively impaired older adults: How useful is a cognitive interview? *Memory*, 15(1), 17–33. <https://doi.org/10.1080/09658210601047351>
213. Wylie, L. E., Patihis, L., McCuller, L. L., Davis, D., Brank, E. M., Loftus, E. F., & Bornstein, B. H. (2014). Misinformation effect in older versus younger adults: A meta-analysis and review. In M. P. Toglia, D. F. Ross, J. Pozzullo, E. Pica (Eds.), *The elderly eyewitness in court*, 38-66. <https://doi.org/10.4324/9781315813936>
214. Yang, M., Gao, Y., Tang, L., Hou, J., & Hu, B. (2023). Wearable Eye-Tracking system for synchronized multimodal data acquisition. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 34(6), 5146–5159. <https://doi.org/10.1109/tcsvt.2023.3332814>
215. Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18(5), 459-482.
216. Zangrossi, A., Cona, G., Celli, M., Zorzi, M., & Corbetta, M. (2021). Visual exploration dynamics are low-dimensional and driven by intrinsic factors. *Communications Biology*, 4(1), 1100. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02608-x>
217. Zellin, M., Pannekamp, A., Toepel, U., & van der Meer, E. (2011). In the eye of the listener: Pupil dilation elucidates discourse processing. *International Journal of Psychophysiology*, 81(3), 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.05.009>
218. Zhou, B., Lapedriza, A., Khosla, A., Oliva, A., & Torralba, A. (2017). Places: a 10 million image database for scene recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(6), 1452–1464. <https://doi.org/10.1109/tpami.2017.2723009>

SITOGRAFIA

1. Biology Insights. (2025, 7 Dicembre). *How Much Does an EEG Machine Cost?*
<https://biologyinsights.com/how-much-does-an-eeeg-machine-cost/>
2. Fondazione DARE. (s.d.). *Chi siamo*.
<https://www.fondazionedare.it/it/chi-siamo-dare-prevenzione-digitale/>