

L'impatto del ritmo sul disancoraggio dell'attenzione visiva in neonati e bambini di 2 mesi

Martina Arioli, Valentina Silvestri, Maria Lorella Gianni, Lorenzo Colombo, Viola Macchi Cassia

Abstract

Il ritmo aiuta l'orientamento dell'attenzione sia negli umani, sia negli animali. In questo lavoro, le origini ontogenetiche del legame fra ritmo e attenzione sono state indagate nei neonati (Esperimento 1; $N = 30$, 16 femmine) e nei bambini di due mesi (Esperimento 2; $N = 30$, 17 femmine). Il disancoraggio dell'attenzione spaziale è stato testato in un compito di Gap/Overlap in cui uno stimolo periferico statico (S2) appare mentre uno stimolo centrale, ritmico, non-ritmico o statico (S1) rimane visibile sullo schermo. I risultati indicano che nei bambini di 2 mesi, ma non dei neonati, il disancoraggio è più rapido quando S1 è statico o ritmico rispetto a quando è non-ritmico. Il comportamento di preferenza visiva indica che questa differenza nella latenza saccadica non è dovuta alla salienza dello stimolo (Esperimento 3; $N = 30$, 18 femmine). I risultati indicano l'importanza della struttura temporale degli stimoli dinamici come una caratteristica specifica che modula il disancoraggio attentivo a 2 mesi d'età.

1. Introduzione

La biologia e il comportamento umani, così come molti fenomeni naturali, mostrano pattern ritmici, generalmente intesi come pattern di eventi regolari nel tempo (McAuley, 2010). Questi pattern possono essere classificati in due principali categorie: ritmi isocroni, con intervalli uguali tra gli eventi, e ritmi anisocroni, dove gli intervalli tra gli eventi sono disuguali. Mentre i ritmi isocroni, con intervalli perfettamente uguali, teoricamente minimizzano l'entropia del segnale (cioè la quantità di informazioni in un segnale, indipendentemente dal significato), la maggior parte dei ritmi naturali, come il battito cardiaco umano e la respirazione, spesso deviano da un'isocronia perfetta, con accelerazioni e decelerazioni (Ravignani & Madison, 2017).

Sia i ritmi isocroni sia quelli anisocroni pervadono l'esperienza percettiva umana durante tutto il ciclo di vita: la ritmicità è presente nel battito cardiaco e nella respirazione materna durante la vita fetale, nei movimenti corporei durante la camminata, nella prosodia del linguaggio, nel flusso e riflusso delle onde oceaniche e nella progressione ciclica di giorno e notte. Data la sua natura onnipresente, si è ipotizzato che il ritmo possa fungere da fonte primaria di informazioni temporali, che il nostro sistema cognitivo sfrutta per ottimizzare la propria interazione con l'ambiente (Keitel et al., 2022).

1.1. *Ritmo e attenzione*

Un processo cognitivo che trae beneficio dalla ritmicità degli eventi nell'ambiente è l'attenzione, che ci permette di selezionare e prioritizzare informazioni rilevanti nel flusso degli eventi ambientali. Supportando la costruzione dell'aspettativa temporale su quando un evento accadrà, il ritmo guida l'orientamento dell'attenzione e modula il guadagno percettivo degli input sensoriali che vengono presentati in accordo con il flusso ritmico. Questa idea è alla base della Dynamic Attending Theory (DAT; Jones & Boltz, 1989), che si basa sulle nozioni di aspettativa e sincronizzazione (ovvero il processo di sincronizzazione di ritmi cerebrali endogeni con stimolazione periodica esterna) per descrivere il tracciamento attentivo in tempo reale di eventi variabili nel tempo. Gli studi pionieristici in questo campo sono stati condotti utilizzando stimoli uditivi e hanno dimostrato che gli individui sono più accurati nel differenziare l'altezza e la durata dei suoni quando questi sono presentati esattamente al tempo previsto, mentre l'accuratezza diminuisce progressivamente all'aumentare dello sfasamento temporale tra la presentazione dei suoni e il ritmo (Barnes & Jones, 2000; Jones et al., 2006).

Gli effetti positivi del ritmo sull'attenzione e sulla percezione sono dimostrati anche nel dominio visivo. Ad esempio, le latenze saccadiche per orientarsi verso un target periferico sono più rapide quando il target appare in fase con uno stimolo uditivo ritmico e prevedibile, rispetto a un ritmo casuale e imprevedibile (Miller et al., 2013). Inoltre, la percezione conscia di stimoli visivi prossimi alla soglia di consapevolezza può essere facilitata quando questi sono presentati in sincronia con un ritmo visivo o uditivo (ad esempio, Elbaz & Yeshurun, 2020; Mathewson et al., 2010). Evidenze convergenti provenienti da studi elettroencefalografici (EEG) mostrano che l'aspettativa temporale di un target modula l'attività oscillatoria cerebrale in corso e che l'intensità di questa attività anticipatoria è predittiva dell'esito dell'elaborazione del target (ad esempio, Besle et al., 2011; Rohenkohl & Nobre, 2011).

1.2. *Origini evolutive del legame tra ritmo e attenzione*

L'aspettativa temporale facilita la percezione, specialmente nel contesto di flussi dinamici di stimoli complessi, come nel linguaggio e nella musica. Tuttavia, la capacità di sfruttare le regolarità temporali per allocare l'attenzione nei momenti rilevanti nel tempo non è esclusivamente umana, dato che è stata riscontrata anche nei primati non umani. Ad esempio, Lakatos et al. (2008) hanno addestrato delle scimmie a rispondere a stimoli infrequenti inseriti in flussi ritmici di eventi visivi e uditivi e hanno scoperto che le oscillazioni nella banda delta della corteccia visiva primaria delle scimmie si sincronizzavano con il ritmo del flusso, con conseguente aumento della risposta e riduzione dei tempi di reazione. Inoltre, un crescente numero di evidenze mostra che le capacità di ritmo e sincronizzazione sono aspetti cruciali dei movimenti e della comunicazione degli animali (vedi la *review* in Ravignani, 2019). Questi risultati suggeriscono che la capacità di fare affidamento sulle regolarità temporali per guidare il comportamento non è una caratteristica esclusivamente umana, ma si è evoluta durante la filogenesi come una strategia adattativa attraverso varie specie animali, permettendo risposte ottimizzate agli eventi ambientali attraverso un'elaborazione selettiva nei momenti chiave (Koltz et al., 2018).

Negli esseri umani, sia gli ambienti prenatali che postnatali sono ricchi di regolarità temporali. Gli input sensoriali regolari e temporalmente strutturati sono onnipresenti nella vita intrauterina, il feto li può percepire attraverso le modalità uditiva, tattile e vestibolare (vedi Provasi et al., 2014 per una *review*). Ad esempio, la frequenza cardiaca fetale varia in risposta alle variazioni di tempo nella musica (Kisilevsky et al., 2004) e al ritmo associato ai movimenti materni quando seduta su una sedia a dondolo (Lecanuet & Jacquet, 2002). Inoltre, è ben riconosciuto che sia i feti (Minai et al., 2017) che i neonati (Nazzi et al., 1998; Ramus et al., 2000) utilizzano segnali ritmici per discriminare tra le diverse lingue. Una porzione significativa degli input sensoriali che raggiungono il feto è di natura uditiva, dato che il sistema uditivo matura rapidamente in utero, diventando funzionante e capace di elaborare attivamente i suoni provenienti sia dall'interno che dall'esterno dell'utero intorno alla ventesima settimana di gestazione (Hepper & Shahidullah, 1994). Questo è particolarmente rilevante per la nostra domanda di ricerca, dato il ruolo ben consolidato della modalità uditiva nell'elaborazione delle strutture temporali astratte e nella discriminazione del ritmo temporale (Guttman et al., 2005). Ciò suggerisce che l'ambiente intrauterino è ricco di informazioni ritmiche, in particolare nel dominio uditivo. Questo è significativo per l'*encoding* del ritmo, poiché i feti sono altamente sensibili agli stimoli uditivi.

Di conseguenza, studi recenti sui neonati prematuri suggeriscono che il cervello sia in grado di elaborare e discriminare i ritmi uditivi oltre la semplice codifica sensoriale (Edalati et al., 2023) anche prima della nascita. Inoltre, la ricerca ha stabilito che le esperienze uditive prenatali possano influenzare le capacità di elaborazione uditiva future (Abboub et al., 2016; Mampe et al., 2009; Moon et al., 1993; Sato et al., 2010; Vogelsang et al., 2022). È quindi possibile che l'esperienza di elaborazione uditiva in utero, insieme alla ritmicità degli input sensoriali intrauterini, possa contribuire a rendere il ritmo una caratteristica prominente della stimolazione ambientale che

potrebbe guidare l'attenzione nei primi mesi postnatali. Di conseguenza, studi hanno mostrato che i bambini di 2 mesi danno priorità alla sincronizzazione temporale audio-visiva (cioè un giocattolo che si muove in sincronia con il ritmo di un suono) rispetto alla collocazione spaziale nell'apprendimento di associazioni cross-modalità arbitrarie, con la collocazione spaziale che diventa più influente a 6 mesi (Morrongio et al., 1998). Questo suggerisce che il ricorso agli attributi temporali predomina nelle prime fasi della vita, mentre gli attributi spaziali diventano più importanti successivamente.

I neonati sono maggiormente esposti a una varietà più ampia di pattern ritmici dopo la nascita e affinano la loro capacità di elaborare queste informazioni. Fin dall'inizio della vita postnatale, i genitori forniscono input ritmici attraverso molteplici canali sensoriali durante le interazioni faccia a faccia. Questi input includono il battere, il dondolare, parlare e cantare, e coinvolgono i neonati nella presa dei turni vocali. Contestualmente, i neonati sviluppano aspettative basate su indizi temporali, come dimostrato dall'attività cerebrale associata a violazioni delle aspettative sensoriali quando un ciclo ritmico all'interno di flussi complessi di stimoli uditivi viene omesso (Winkler et al., 2009). Il tempo e il ritmo sono due proprietà amodali degli stimoli la cui discriminazione diventa più flessibile e robusta man mano che aumenta l'esperienza percettiva. Questa tendenza evolutiva è supportata da studi che mostrano che la discriminazione inizialmente beneficia della ridondanza intersensoriale (ad esempio, quando si verificano cambiamenti sia nella modalità visiva che uditiva) e solo dopo pochi mesi diventa più consistente nel contesto di stimolazioni unimodali non ridondanti (ad esempio, visiva o uditiva) (Bahrick & Lickliter, 2004).

Parallelamente allo sviluppo delle abilità di percezione del ritmo, il cervello dei neonati sfrutta queste informazioni per guidare lo sviluppo di varie competenze motorie (Liparoti & Minino, 2021), cognitive, sociali e comunicative (ad esempio, Goswami, 2022; Trainor & Cirelli, 2015). Tuttavia, solo pochi studi hanno esplorato il legame tra ritmo e attenzione nei primi mesi di vita. Misurando lo scanning visivo tramite *eye-tracking*, Lense et al. (2022) hanno mostrato che i neonati di 2 mesi sincronizzano il loro comportamento visivo con il ritmo del canto indirizzato al bambino, aumentando le loro risposte visive verso gli occhi del caregiver in sincronia con il battito. Quando il ritmo viene sperimentalmente interrotto, riducendo la sua prevedibilità, anche la sincronizzazione visiva viene interrotta. Utilizzando un paradigma di aspettativa visiva, Adler et al. (2008) hanno mostrato che i bambini di 3 mesi sono sensibili alla velocità di flusso degli eventi visivi. Nel loro studio, gli autori hanno manipolato la predittività temporale degli eventi visivi che apparivano alternativamente sui lati sinistro e destro dello schermo, e hanno misurato la latenza dello sguardo dei neonati verso questi stimoli. I risultati hanno rivelato che i neonati mostravano una maggiore anticipazione (ovvero spostamenti dello sguardo prima che l'evento iniziasse) quando la tempistica degli eventi era prevedibile, rispetto a quando non lo era, suggerendo che formavano le loro aspettative temporali in base alla velocità media di flusso delle sequenze di eventi. Mento e Valenza (2016) hanno mostrato che a 9 mesi di età i bambini mostrano un'attività corticale anticipatoria basata sulle aspettative, come indicato dalla *Contingent Negative Variation* (CNV), che si verifica prima dell'apparizione di un volto sorridente durante il gioco del "cucù" (cioè un gioco con schemi prevedibili e occasionali interruzioni) quando il volto è ritardato rispetto al tempismo usuale.

Questa evidenza suggerisce che i neonati sono sensibili alle regolarità presenti nell'ambiente, specialmente nel contesto sociale, e sfruttano tali regolarità per allocare le loro risorse di attenzione visiva. Tuttavia, per ottenere una comprensione più approfondita di come il ritmo influenzi l'attenzione nei neonati, è cruciale chiarire i meccanismi attentivi specifici che sono suscettibili alla struttura temporale degli stimoli. Un possibile obiettivo per tale indagine è il disancoraggio attentivo, una componente fondamentale dell'orientamento visivo che è disponibile fin dalla nascita.

1.3. *Il disancoraggio attentivo visivo nei neonati*

Il disancoraggio attentivo è la capacità di spostare il focus dell'attenzione selettiva da una posizione ad un'altra (Johnson et al., 1991), un passaggio necessario per orientare l'attenzione visiva ed esplorare l'ambiente. Il paradigma gap-overlap è stato ampiamente utilizzato per valutare le abilità di disancoraggio attentivo nei neonati in ambienti di laboratorio controllati, partendo dall'infanzia (Blaga & Colombo, 2006; Hunnius & Geuze, 2004; Matsuzawa & Shimojo, 1997) fino al periodo neonatale (Farroni et al., 1999; Valenza et al., 2015). In questo paradigma, lo sguardo dei neonati viene inizialmente attratto da uno stimolo visivo centrale, seguito dalla presentazione di uno stimolo periferico. Questo produce tipicamente uno spostamento dello sguardo dalla linea mediana verso lo stimolo periferico. Se lo stimolo centrale scompare prima che appaia lo stimolo periferico (cioè, condizione *gap*), la latenza per iniziare un saccade verso il nuovo stimolo è ridotta, poiché non è necessario il disancoraggio. Tuttavia, se lo stimolo centrale rimane visibile mentre appare lo stimolo periferico (cioè, condizione *overlap*), la latenza per orientarsi verso il bersaglio aumenta, riflettendo la necessità di disimpegnare l'attenzione dallo stimolo centrale prima di spostarla verso la periferia. Pertanto, la condizione *overlap* è comunemente utilizzata per investigare le capacità di disancoraggio attentivo dei neonati e la loro flessibilità in risposta alle caratteristiche dello stimolo.

Nonostante la ricerca limitata, alcuni studi hanno documentato l'*effetto gap* (cioè una latenza saccadica più breve nella condizione *gap* rispetto alla condizione *overlap*) nei neonati, indicando che i componenti fondamentali dell'orientamento visivo sono già funzionali alla nascita (Farroni et al., 1999; Valenza et al., 2015). Tuttavia, questa abilità migliora con la maturazione cerebrale, e la latenza nello spostamento dello sguardo dei neonati verso il bersaglio periferico nella condizione *overlap* diminuisce con l'età (ad esempio, Hood & Atkinson, 1993; Matsuzawa & Shimojo, 1997). Tra 1 e 2 mesi di età, i neonati manifestano un fenomeno noto come "*sticky fixation*" ("fissazione adesiva") o "*obligatory attention*" ("attenzione obbligatoria"), dove faticano a disancorare lo sguardo da uno stimolo fissato, anche se non lo stanno più osservando. Questo fenomeno è attribuito all'influenza inibitoria della corteccia visiva primaria in maturazione, che proietta dalla substantia nigra al collicolo superiore, la struttura sottocorticale responsabile della generazione delle saccadi dalla nascita fino all'età adulta. Con la maturazione del percorso corticale per il controllo del movimento oculare, che regola l'attività nel collicolo superiore tramite l'area temporale mediale, l'attenzione obbligatoria si risolve intorno ai 2 mesi, permettendo un tracciamento visivo fluido (Johnson, 1990). A 3 mesi, ulteriori sviluppi nelle strutture superiori della corteccia visiva primaria potenziano le proiezioni verso altre aree corticali, in particolare i campi oculari frontali nella corteccia frontale. Questo permette ai neonati di disancorare lo sguardo più facilmente, avviando saccadi rapide (ad esempio, Butcher et al., 2000) e compiendo movimenti oculari anticipatori verso le posizioni future dei bersagli (Canfield & Haith, 1991).

Il disancoraggio attentivo nella condizione *overlap* è anche influenzato dagli attributi sia dello stimolo centrale che di quello periferico, che modulano la latenza delle saccadi. Nello studio di Farroni et al. (1999), ai neonati veniva presentata una luce lampeggiante come stimolo centrale di fissazione e, come target periferico, una luce lampeggiante, un volto schematico dritto o un volto schematico capovolto. Quando lo stesso stimolo (cioè una luce lampeggiante) veniva presentato sia al centro che alla periferia, le latenze delle saccadi erano significativamente più lente rispetto a quando l'obiettivo periferico era un volto schematico dritto o capovolto. Valenza et al. (2015) hanno ulteriormente indagato questo fenomeno utilizzando immagini di volti reali dritti e capovolti come stimoli centrali e periferici. Hanno scoperto che i neonati erano più veloci a spostare lo sguardo quando il volto centrale era statico e il volto periferico aveva movimenti animati degli occhi e della bocca, rispetto alla condizione inversa. Nello stesso studio, i bambini di 4 mesi mostravano latenze delle saccadi più veloci quando il volto periferico era dritto e quello centrale capovolto, rispetto alla disposizione inversa. Questi studi mostrano che la salienza relativa degli stimoli centrali e periferici

modula la velocità del disancoraggio attentivo nei neonati, che è più veloce quando i due stimoli differiscono rispetto a quando sono uguali (Farroni et al., 1999), e quando un volto in movimento si trova alla periferia rispetto a quando è al centro (Valenza et al., 2015).

1.4. Obiettivo dello studio

Il presente studio mira a investigare l'ontogenesi della connessione tra il ritmo e l'attenzione, esplorando specificamente l'ipotesi che l'abilità di dirigere l'attenzione visuo-spaziale nell'ambiente è influenzata dalla struttura ritmica della stimolazione visiva fin dalle primissime fasi della vita postnatale, ovvero alla nascita e a due mesi d'età.

Abbiamo utilizzato un compito *gap-overlap* per valutare l'impatto della stimolazione ritmica sull'attenzione visuo-spaziale dei neonati, e in particolare sulla componente del disancoraggio. In particolare, abbiamo investigato se gli stimoli ritmici influenzano la capacità dei neonati di disancorare l'attenzione visiva da uno stimolo centrale (S1) e spostarla verso un obiettivo periferico (S2) alla nascita (Esperimento 1) e a 2 mesi di età (Esperimento 2), quando il fenomeno dell'attenzione obbligatoria è assente (nascita) o si è risolto (2 mesi). Per valutare questa ipotesi, abbiamo manipolato le caratteristiche temporali dello stimolo centrale (S1), creando tre condizioni: statica, ritmica (cioè lampeggiante a un ritmo costante) e non ritmica (cioè lampeggiante a un ritmo irregolare). È importante notare che la nostra manipolazione sperimentale si è concentrata sulla presenza o assenza di un pattern temporale ricorrente piuttosto che sulle variazioni all'interno del pattern stesso, poiché questo approccio è stato ritenuto più appropriato per il gruppo di età giovane considerato nel contesto di stimolazione unimodale (cioè visiva) (Bahrick & Lickliter, 2004).

A differenza di S1, le caratteristiche temporali di S2 sono rimaste costanti tra le condizioni. Questa decisione è stata presa per isolare l'effetto della ritmicità sul disancoraggio dallo stimolo centrale ed evitare potenziali fattori confondenti. Poiché il movimento nella periferia, in particolare nel campo visivo temporale (Lewis et al., 1996), è noto per potenziare l'orientamento visivo alla nascita e nei primi mesi di vita (ad esempio, Lewis et al., 1996; Valenza et al., 2015), mantenere S2 come una versione stazionaria di S1 ha assicurato che gli effetti della ritmicità sul disancoraggio non fossero oscurati dalla salienza degli stimoli periferici.

L'inclusione di una condizione statica, in cui stimoli stazionari identici apparivano sia al centro (S1) che alla periferia (S2), aveva due scopi. In primo luogo, facilitava la separazione tra le prove ritmiche e non ritmiche durante la presentazione del compito, garantendo una chiara differenziazione tra le condizioni. In secondo luogo, migliorava la comparabilità dello studio attuale con le ricerche precedenti. Sia Farroni et al. (1999, Studio 2 e 3) che Valenza et al. (2015, Studio 1) hanno utilizzato una condizione in cui gli stimoli centrali e periferici erano identici (cioè una luce lampeggiante in Farroni et al., un volto schematico dritto o capovolto in Valenza et al.), oltre ad altre condizioni in cui i due stimoli differivano. Valenza et al. (2015) non hanno riscontrato differenze significative tra queste condizioni. Farroni et al. (1999) hanno riportato che i neonati mostravano latenze delle saccadi più lunghe quando S1 era uguale a S2 rispetto a quando i due stimoli differivano, attribuendo provvisoriamente questa differenza alla maggiore salienza di S2 rispetto a S1 nella seconda condizione ma non nella prima.

L'Esperimento 1 e l'Esperimento 2 sono stati presentati come esperimenti separati a causa delle differenze metodologiche nei compiti utilizzati per valutare l'attenzione visiva nei neonati e nei bambini di 2 mesi. Mentre il compito per i bambini di 2 mesi incorporava sia le condizioni di *overlap* che di *gap*, richiedendo un disegno *within-subjects*, la labilità degli stati neurocomportamentali dei neonati e la loro limitata collaborazione hanno limitato la nostra capacità di testarli in entrambe le condizioni. Invece, ci siamo concentrati sulla condizione di *overlap* per esaminare il disancoraggio dell'attenzione visiva nei neonati.

Sulla base delle evidenze negli adulti (Miller et al., 2013), abbiamo ipotizzato che il ritmo potesse migliorare l'attenzione dei neonati verso gli obiettivi periferici che apparivano in fase con il ritmo centrale. Di conseguenza, prevedevamo latenze saccadiche più brevi nella condizione ritmica rispetto a quella non ritmica, effetto che sarebbe diventato più pronunciato a due mesi a causa di fattori maturativi ed esperienziali. Tuttavia, siamo stati cauti nel fare previsioni specifiche riguardo alla condizione statica, poiché la salienza relativa di S1 e S2 differisce in questa condizione rispetto a quelle dinamiche (ritmiche e non ritmiche). Nella condizione statica, S1 e S2 sono identici (cioè entrambi statici), mentre nelle condizioni dinamiche, uno stimolo è dinamico e l'altro è statico. Ricerche precedenti (Farroni et al., 1999) hanno mostrato che questo può impattare le latenze saccadiche dei neonati nei compiti *overlap* come quello usato nel presente studio. Per cui, qualsiasi differenza (o mancanza) tra la condizione statica, ritmica e/o non-ritmica potrebbe non essere inequivocabilmente attribuibile alla struttura temporale dello stimolo centrale.

Per investigare ulteriormente i meccanismi sottostanti gli effetti osservati delle regolarità temporali sull'attenzione visiva, Esperimento 3 ha impiegato un paradigma di osservazione preferenziale con bambini di 2 mesi. Questo compito ha comparato direttamente la salienza relativa di stimoli statici, ritmici e non-ritmici presentando coppie di stimoli simultaneamente sullo schermo. La preferenza visiva dei bambini per un dato stimolo è stata interpretata come una misura del suo potenziale di attirare l'attenzione quando presentato centralmente come S1 nel compito di *overlap*.

2. Esperimento 1 (neonati)

Esperimento 1 ha esplorato l'influenza della struttura temporale sul disancoraggio dell'attenzione visiva tramite il testing di neonati di pochi giorni d'età in un compito *overlap*. Lo stimolo centrale (S1) variava tra una forma statica, una forma che lampeggiava ritmicamente, e una forma che lampeggiava casualmente. Lo stimolo periferico (S2) è sempre la versione statica dello stimolo centrale. Il numero di prove valide e la latenza della saccade (cioè il tempo impiegato per iniziare una saccade verso S2 dopo la sua comparsa) sono stati utilizzati come variabili dipendenti.

2.1. Metodi

2.1.1. Partecipanti

Il campione finale era composto da 30 neonati in salute e nati a termine (16 bambine; età media: 42.97h, range: 17,45-68.40 h; peso medio alla nascita: 3223,46 g, range: 2520-4400 g; età gestazionale media: 39.06, range: 37-41, punteggio APGAR: almeno 9 dopo 5 minuti). Tutti provenivano da famiglie di classe medio-alta. Tutti i partecipanti sono stati reclutati presso l'Unità di Terapia Intensiva Neonatale della fondazione IRCCS Ca' Granda Ospedale Maggiore Policlinico e testati quando erano in uno stato di veglia e allerta. Altri diciassette bambini erano stati testati ma esclusi dal campione finale a causa di agitazione (N = 6), problemi tecnici (N = 3) e mancanza di un numero di prove sufficiente (cioè almeno 2 in almeno 2 condizioni; N = 8). La dimensione del campione è stata predeterminata utilizzando una simulazione Monte Carlo tramite il pacchetto SIMR in R (Green & Macleod, 2016). Abbiamo condotto un'analisi di potenza a priori sulla base di un campione pilota (N = 6), e dopo 1000 simulazioni, un campione di 30 partecipanti è stato considerato sufficiente per ottenere una potenza dell'82.40%. I genitori hanno compilato il modulo di consenso informato prima della sessione sperimentale. Il protocollo ha soddisfatto gli standard etici della Dichiarazione di Helsinki (BMJ 1991; 302: 1194), ed è stato approvato dal Comitato Etico competente (Comitato Etico Milano Area 2; ID: 694; Approvazione N. 952_2021).

2.1.2. Stimoli

Tre forme geometriche bianche (cerchio pieno, cerchio vuoto, e scacchiere 2x2) generate utilizzando E-Prime 2.0 sono state utilizzate come stimoli sia per S1 sia per S2. Da una distanza di circa 30 cm, ogni forma occupava un angolo visivo di circa 13° (7cm) x 13° (7cm). La distanza tra i

bordi più vicini dell'immagine centrale e periferica occupava circa 22.62° di angolo visivo (12cm). L'apparizione di S1 è stata manipolata al fine di creare tre condizioni: una condizione statica dove S1 rimaneva fermo sullo schermo, una condizione ritmica dove S1 lampeggiava con pattern regolari di accensione e spegnimento (500 ms acceso, 400 ms spento; tasso di presentazione medio di 1 Hz), e una condizione non ritmica in cui S1 lampeggiava senza un pattern riconoscibile (fasi di accensione e spegnimento variabili tra 200 e 3000 ms e tra 200 e 800 ms; tasso di presentazione medio di 1,15 Hz). S2 rimaneva sempre statico sullo schermo. I tassi di presentazione sono stati scelti in base alla funzione di sensibilità al contrasto temporale (tCSF), che descrive la sensibilità del sistema visivo alle informazioni che variano nel tempo, e ai risultati dei pochi studi disponibili che misurano le risposte cerebrali evocate dalla stimolazione visiva ritmica nei neonati (Apkarian, 1993; Buiatti et al., 2019). Dato che non ci sono dati disponibili sulla tCFS sui neonati, il tasso del pattern ritmico (circa 1 Hz) è stato scelto per allinearsi con il picco di sensibilità alle informazioni che variano nel tempo ad alto contrasto dei bambini di un mese e mezzo d'età.

2.1.3. Apparato

I neonati sono stati testati in una stanza lievemente illuminata, con pannelli neri che coprivano le finestre e i lati dello schermo dove gli stimoli venivano mostrati. Ogni bambino sedeva in braccio a uno degli sperimentatori, di fronte a un monitor di 27 pollici (risoluzione 1920×1080 pixel, frequenza di aggiornamento: 60 Hz) posizionato a circa 30 cm di distanza. Una videocamera posizionata sopra lo schermo di presentazione degli stimoli catturava il volto del neonato in tempo reale, trasmettendo il filmato a un computer portatile. Un secondo sperimentatore monitorava il feed video in diretta per avviare ogni prova e controllare l'apparizione dello stimolo periferico in base al comportamento visivo del neonato. Un secondo monitor, posizionato sopra lo schermo di presentazione degli stimoli, permetteva allo sperimentatore che teneva il neonato di mantenere gli occhi allineati con la linea mediana dello schermo. Il filmato video veniva anche registrato su un registratore digitale Mini-DV per la codifica offline delle latenze saccadiche verso S2. Ai genitori era permesso osservare l'intera sessione sperimentale e interagire con il neonato in caso di disagio.

2.1.4. Procedura

Il testing iniziava quando il neonato era orientato verso lo schermo con gli occhi aperti, momento in cui uno sperimentatore premeva un tasto per iniziare la prima prova. La madre del bambino era presente nella stanza di test durante tutta la procedura ma rimaneva fuori dal campo visivo del neonato. La procedura era *infant-controlled*, quindi ogni prova iniziava non appena lo sguardo del neonato era indirizzato verso lo schermo. Questo attivava la presentazione di una forma geometrica (S1) statica, ritmica o non ritmica al centro dello schermo. Dopo che lo sperimentatore ha codificato 3,6 s (equivalenti a quattro ripetizioni del pattern ritmico) di sguardo continuo, una seconda forma identica (S2) appariva perifericamente a sinistra o a destra dello stimolo centrale e rimaneva ferma. La posizione laterale dello stimolo periferico variava casualmente tra le prove, assicurando una distribuzione equa delle occorrenze su entrambi i lati, sinistro e destro, per ogni condizione. Durante ogni prova, S1 continuava ad apparire, sovrapponendosi a S2 (fig. 1). Per mantenere la coerenza temporale tra le condizioni, la presentazione di S2 era sempre sincronizzata con l'inizio di S1, garantendo che il flusso temporale dell'intera sequenza di presentazione degli stimoli fosse identico. Ciò significa che, nelle condizioni ritmica e non ritmica, anche una volta che il criterio di fissazione di 3,6 secondi era stato raggiunto, l'apparizione di S2 veniva mantenuta in sospenso fino a quando S1 non iniziava. Una volta che l'infante distoglieva lo sguardo da S1 o passavano 10 secondi dall'inizio di S2 senza una saccade, la presentazione degli stimoli veniva interrotta. Lo Sperimentatore avviava quindi la prova successiva presentando un nuovo stimolo centrale. Ogni partecipante completava un massimo di 18 prove, suddivise in sei

blocchi nelle tre condizioni di tipo S1. I primi tre blocchi includevano quattro prove ciascuno, seguiti da tre blocchi successivi con due prove ciascuno, consentendo ai partecipanti più cooperativi di contribuire con più prove in tutte le condizioni. I sei blocchi di prove sono stati presentati in uno dei due possibili ordini: ritmico - statico - non ritmico - non ritmico - statico - ritmico (N = 17), o non ritmico - statico - ritmico - ritmico - statico - non ritmico (N = 13). La condizione statica è sempre stata posizionata tra le due condizioni dinamiche per facilitare la distinzione tra prove ritmiche e non ritmiche durante il compito e garantire una chiara differenziazione tra le due. La presentazione delle prove è continuata fino a quando il bambino non è diventato irrequieto o distratto. Solo i bambini che hanno contribuito ad almeno due prove (cioè hanno eseguito saccadi valide verso S2) in due condizioni differenti, per un totale di almeno 4 prove, 4 prove, sono stati inclusi nelle analisi successive.

2.1.5. *Riduzione e analisi dei dati*

Le registrazioni video del comportamento visivo dei neonati sono state codificate offline, fotogramma per fotogramma (risoluzione di 40 ms) utilizzando VirtualDub, un software di acquisizione e elaborazione video per piattaforme Windows a 64 bit. Due codificatori indipendenti, ignari delle domande di ricerca e della condizione di tipo S1 in fase di test, hanno codificato lo sguardo di ciascun neonato in ogni prova, registrando i tempi di fissazione cumulativi su S1 e le latenze saccadiche per orientarsi verso S2 (cioè, il tempo trascorso tra l'apparizione di S2 e il momento in cui il neonato ha iniziato una saccade verso di essa). Il tempo di fissazione cumulativo è stato uno dei diversi criteri utilizzati per identificare le prove valide, ed è incluso come variabile dipendente in alcuni studi che adottano il compito *gap-overlap* nei neonati (Farroni et al., 1999; Valenza et al., 2015). Per verificare l'efficacia del nostro compito nell'indurre l'orientamento dell'attenzione visuo-spaziale e garantire la comparabilità, abbiamo inserito il numero di prove valide nelle analisi statistiche. Per essere considerata valida, una prova doveva soddisfare i seguenti criteri (basati su Valenza et al., 2015): (1) mantenere una fissazione continua su S1 per almeno 2,7 secondi (equivalenti a tre ripetizioni del pattern ritmico), (2) fissare continuamente lo stimolo sulla linea mediana per almeno 500 ms immediatamente prima dell'apparizione di S2, (3) avviare una saccade verso S2 entro un intervallo di 200–10.000 ms dopo la sua apparizione, e (4) eseguire una saccade diretta verso S2 senza indugiare in altre direzioni. La latenza saccadica è stata anche utilizzata per le analisi statistiche dopo la trasformazione logaritmica, come raccomandato per le misure del comportamento visivo nei neonati (Csibra et al., 2016). Per le latenze saccadiche, la media delle misurazioni dei due codificatori è stata usata nelle analisi. Nei casi in cui i giudizi dei due codificatori differivano per più di 1 frame (9% di tutte le prove), il video veniva ricodificato da entrambi i codificatori. Se non riuscivano a raggiungere un accordo, la prova veniva esclusa dalle analisi (0.93% di tutte le prove).

Le analisi statistiche sono state condotte utilizzando il software statistico R (RStudio Team, 2020), impiegando i pacchetti lme4 (Bates et al., 2009) e lmerTest (Kuznetsova et al., 2017) per l'implementazione del modello lineare misto (Baayen et al., 2008). Sono stati condotti due modelli separati, uno per ogni variabile dipendente: il numero di prove valide (cioè le prove in cui il neonato ha fissato S2) e la latenza

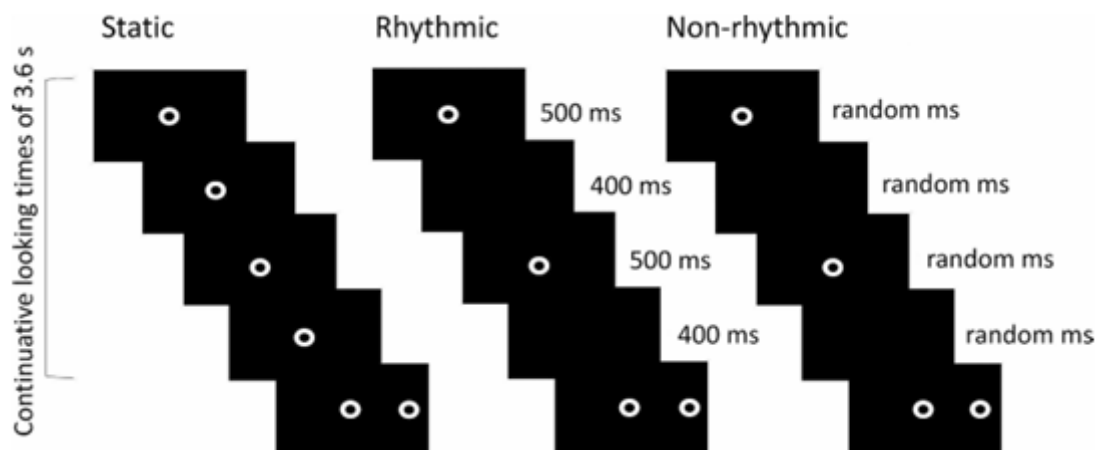


Fig. 1. Struttura delle prove per ognuna delle tre condizioni di S1: la condizione statica in cui S1 rimane statica sullo schermo, la condizione ritmica in cui S1 lampeggia sullo schermo secondo un pattern temporale di 500 ms acceso-400 ms spento, e la condizione non ritmica in cui S1 lampeggiava sullo schermo senza un pattern predicibile. S2 rimaneva sempre statico sullo schermo.

saccadica log-trasformata per orientarsi verso S2. Entrambi i modelli includevano il predittore S1 (statico, ritmico, non ritmico) e un'intercetta casuale per ciascun soggetto, per tenere conto delle differenze individuali nelle risposte di latenza saccadica. In un secondo set di analisi condotte per entrambi i modelli, abbiamo esaminato se l'ordine dei blocchi di prova (ovvero RH-ST-NRH-NRH-ST-RH o NRH-ST-RH-RH-ST-NRH) e l'interazione tra il tipo di S1 e l'ordine dei blocchi di prova migliorassero significativamente l'adattamento del modello. Non è stato osservato un miglioramento significativo nella *goodness of fit* per nessuno dei modelli (tutti i $p > 0,07$), suggerendo che l'ordine dei blocchi di prova non spiegasse ulteriore varianza nei dati; ciò ha portato ad escludere questo fattore dal modello.

Per valutare la robustezza dei modelli originali, abbiamo rimosso gli *outlier* eccessivamente influenti utilizzando la critica del modello (3 deviazioni standard dei residui standardizzati). Questa procedura ha portato all'esclusione dell'1,11 % dei *data points* per l'analisi delle prove valide e a nessuna esclusione di *data points* per l'analisi delle latenze saccadiche.

2.2. Risultati

Il numero medio e la percentuale di prove valide, insieme alla latenza media delle saccadi mostrate dai neonati nelle condizioni S1 statiche, ritmiche e non ritmiche, sono presentati nella Tabella 1.

1.1.2. Numero di prove valide

Il modello lineare a effetti misti applicato al numero di prove valide non ha mostrato alcuna differenza significativa tra la condizione statica, ritmica e non ritmica, $p > .9$.

1.1.3. Latenze saccadiche

Il modello lineare a effetti misti applicato alla latenza dei movimenti saccadici oculari verso S2 non ha rilevato alcun effetto principale o d'interazione, tutti i valori di $p > 0.06$ (Fig. 2).

2.3. Discussione provvisoria

Lo scopo dell'Esperimento 1 era indagare se manipolare la struttura temporale dello stimolo centrale (S1) influenzasse l'efficienza del disancoraggio attentivo nei neonati, come misurato dal

numero di prove valide e dalla latenza saccadica per fissare il bersaglio periferico (S2) in un compito di sovrapposizione. Non sono state rilevate differenze significative tra le tre condizioni.

Tabella 1. Numero medio (DS) e la percentuale di prove valide e la latenza (ms) saccadica media (DS) per ogni tipo di condizione S1 mostrata da neonati (Esperimento 1) e bambini di 2 mesi d'età (Esperimento 2).

Experiment	Measure	Overlap task				Gap task			
		Static	Rhythmic	Non-rhythmic	Total	Static	Rhythmic	Non-rhythmic	Total
1. Newborns	N. valid trials	2.83 (0.2)	2.84 (0.2)	2.77 (0.2)	7.3 (2.7)				
	% valid trials	47.2 %	47.3 %	46.2 %	40.5 %				
	Sac. latency	1705 (181)	1702 (194)	2347 (192)					
2. 2-month-olds	N. valid trials	2.80 (0.1)	2.70 (0.1)	2.77 (0.1)	8.26 (1.1)	2.83 (0.2)	2.75 (0.2)	3 (0.2)	8.58 (2.3)
	% valid trials	70 %	67.5 %	69.3 %	69 %	71.75 %	68.75 %	75 %	71.5 %
	Sac. latency	712 (52.4)	754 (53)	1021 (54.2)		509 (75.9)	558 (74.5)	499 (76.8)	

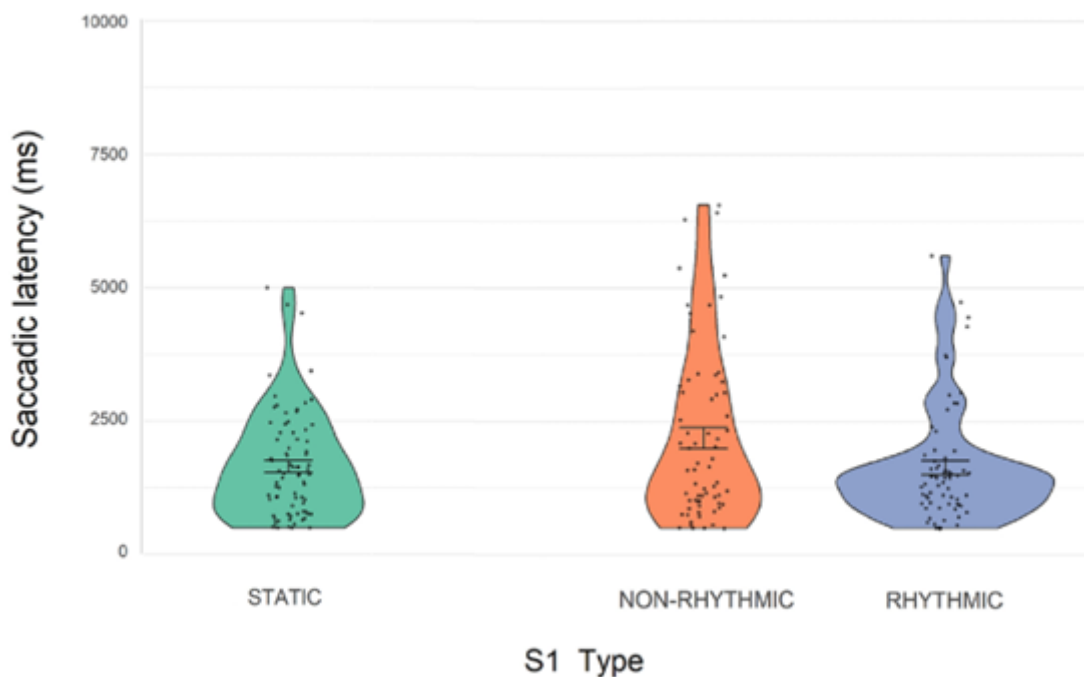


Fig. 2. Le latenze saccadiche dei neonati per orientarsi verso S2 (cioè il tempo trascorso tra l'apparizione di S2 e il momento in cui il neonato ha iniziato una saccade verso di esso) nelle tre condizioni di S1 - cioè quando S1 è rimasto statico, ha lampeggiato in modo non ritmico o ha lampeggiato in modo ritmico - dell'Esperimento 1

Mentre i risultati nulli pongono sfide interpretative, la mancanza di differenze significative tra le tre condizioni non fornisce supporto empirico all'idea che il ritmo migliori l'allocazione dell'attenzione visuo-spaziale nei neonati. È fondamentale sottolineare che questo risultato non implica necessariamente che i neonati non siano riusciti a distinguere tra i tre stimoli di fissazione. Invece, suggerisce che il pattern temporale incorporato nello stimolo centrale non abbia esercitato un'influenza percepibile sui meccanismi di orientamento visivo. In particolare, questa osservazione è in linea con i risultati precedenti che dimostrano che il disancoraggio attentivo non viene modulato in modo diverso da stimoli che i neonati discriminano facilmente e a cui prestano particolare attenzione. Ad esempio, nonostante la ben consolidata preferenza dei neonati per i volti dritti rispetto a quelli invertiti (ad esempio, Valenza et al., 1996), Valenza et al. (2015, Studio 1b) non sono riusciti a rilevare differenze nelle latenze saccadiche dei neonati nel dirigere lo sguardo verso volti in movimento dritti rispetto a quelli invertiti, in base all'orientamento del volto di fissazione centrale. Gli autori attribuirono questo risultato all'effetto di oscuramento del movimento

sull'attenzione dei neonati. Allo stesso modo, nello studio attuale, è possibile che l'alta salienza degli stimoli lampeggianti possa aver mascherato qualsiasi potenziale influenza del ritmo, rendendo altrettanto difficile per i neonati disancorare l'attenzione da S1 nelle due condizioni dinamiche.

Questa interpretazione non è in contrasto con l'assenza di differenze significative tra le condizioni dinamiche (ritmica e non ritmica) e quella statica: la salienza degli stimoli lampeggianti può, di fatto, aver rallentato il disancoraggio attentivo da S1 nelle condizioni ritmiche e non ritmiche, ma la bassa salienza di S2 nella condizione statica può aver portato a sua volta a un lento disancoraggio attentivo da S1 statico, risultando in una mancanza di differenze di latenza tra le condizioni S1 dinamica e statica.

Il numero medio di prove valide e la media delle latenze saccadiche osservate nel nostro studio è in linea con quelle riportate negli unici studi precedenti che hanno impiegato il paradigma *overlap* per valutare il disancoraggio dell'attenzione nei neonati, utilizzando stimoli simili a volti (Farroni et al., 1999; Valenza et al., 2015). In questi studi, le latenze saccadiche medie variavano da 1038 ms (Farroni et al., 1999) a 3500 ms (Valenza et al., 2015), e il numero medio di prove valide variava da 6,6 (Farroni et al., 1999) a 9 (Valenza et al., 2015). Questi valori non sono molto diversi da quelli riportati nella Tabella 1. Ciò supporta l'idoneità dei nostri stimoli e della nostra procedura per esaminare il disancoraggio dell'attenzione nei neonati ed estende l'adequatezza del compito di *overlap* per valutare il disancoraggio dell'attenzione visiva, anche quando gli stimoli non contengono indizi sociali.

Alla luce dell'evidenza del fatto che i bambini di 2 mesi d'età sincronizzano il loro comportamento visivo con il ritmo della stimolazione uditiva ambientale (Lense et al., 2022), abbiamo ipotizzato che effetti simili possano verificarsi con la stimolazione ritmica visiva, e che il disancoraggio attentivo possa essere affetto dal pattern temporale con cui viene presentato lo stimolo visivo S1. Per verificare questa ipotesi, nell'Esperimento 2 abbiamo testato se l'effetto del ritmo sul disancoraggio attentivo si verificasse a 2 mesi d'età. A tal fine, abbiamo somministrato lo stesso identico compito di *overlap* utilizzato nell'Esperimento 1 a un gruppo di neonati di 2 mesi, seguito da un compito di *gap* in cui lo stimolo di fissazione centrale scompariva dallo schermo prima che apparisse lo stimolo periferico. La condizione *gap* serviva come controllo per verificare che il disancoraggio attentivo fosse effettivamente in atto nel compito *overlap*, poiché ciò sarebbe indicato da tempi di latenza saccadica complessivamente più brevi nella condizione di *gap* rispetto alla condizione di *overlap* (cioè, effetto *gap*). Inoltre, l'assenza di differenze tra le condizioni di tipo S1 nelle prove *gap* indicherebbe che la manipolazione di S1 ha influenzato specificamente il processo di disancoraggio dell'attenzione.

3. Esperimento 2 (bambini di 2 mesi)

3.1. Metodi

I metodi erano gli stessi dell'Esperimento 1, salvo le seguenti eccezioni.

3.1.1. Discussione provvisoria

Il campione dello studio era composto da trenta bambini sani di 2 mesi (17 femmine; età media: 77,8 giorni, intervallo: 61–96 giorni). Tutti i partecipanti erano nati a termine e non presentavano note disabilità visive o anomalie nello sviluppo. Provenivano tutti da famiglie di classe medio-alta. Diciassette bambini sono stati testati ma esclusi dal campione finale a causa di problemi tecnici (N = 1), irrequietezza (N = 4) o della mancanza di almeno 2 prove valide in 2 condizioni diverse (N = 12). La dimensione del campione è stata determinata seguendo lo stesso approccio impiegato

nell'Esperimento 1. Il reclutamento è avvenuto tramite inviti scritti inviati ai genitori dei bambini. Il protocollo dello studio è stato condotto nel rispetto delle linee guida etiche della Dichiarazione di Helsinki e ha ricevuto l'approvazione dal Comitato Etico competente (Comitato Etico Milano Area 2; ID: 964; Approvazione N. 952_2021). È stato ottenuto il consenso informato scritto dai genitori prima della partecipazione del neonato alla sessione sperimentale.

3.1.2. Stimoli

Gli stimoli erano identici a quelli utilizzati nell'Esperimento 1. Osservandola da una distanza di circa 50 cm, ciascuna forma sottendeva un angolo visivo di 8° ($7\text{ cm} \times 8^\circ$ (7 cm), e la distanza tra i bordi più vicini degli stimoli periferici e lo stimolo centrale era di circa $13,68^\circ$ (12 cm) in angolo visivo. Come nell'Esperimento 1, lo stimolo centrale (S1) poteva rimanere fermo (condizione statica), lampeggiare secondo un pattern temporale di 500 ms acceso-400 ms spento (condizione ritmica), o lampeggiare in modo imprevedibile (condizione non ritmica). Una volta apparso, lo stimolo periferico (S2) restava fisso sullo schermo (Fig. 1).

3.1.3. Apparato e procedura

Ogni neonato era seduto in grembo al genitore, posizionato a circa 50 cm dallo schermo (24", risoluzione 1920×1200 pixel). Per ridurre al minimo le distrazioni visive, la stanza era debolmente illuminata, e pannelli neri erano posizionati intorno al display. I genitori erano istruiti a non interagire con il proprio bambino, a meno che non mostrasse segni di disagio. I partecipanti hanno completato un totale di 24 prove, suddivise in sei blocchi da quattro prove ciascuno, con i blocchi organizzati in base alla condizione del compito (overlap o gap) e al tipo di S1 (statico, ritmico o non ritmico). La struttura delle prove era identica a quella dell'Esperimento 1: S2 appariva casualmente sul lato sinistro o destro dello schermo dopo che il neonato aveva mantenuto lo sguardo su S1 per 3,6 secondi consecutivi. Nelle condizioni ritmica e non ritmica, la comparsa di S2 era sincronizzata con quella di S1, e rimaneva sullo schermo fino a quando il neonato distoglieva lo sguardo o trascorrevano 10 secondi. Nelle prove *overlap*, S1 restava visibile quando compariva S2, mentre nelle prove *gap*, S1 scompariva 400 ms prima della comparsa di S2.

I blocchi di prove venivano presentati in uno dei due possibili ordini: overlap ritmico, overlap statico, overlap non ritmico, gap non ritmico, gap statico, gap ritmico oppure overlap non ritmico, overlap statico, overlap ritmico, gap ritmico, gap statico, gap non ritmico

La presentazione delle prove continuava fino a quando il neonato diventava irrequieto o disattento.

3.1.4. Riduzione e analisi dei dati

Analogamente all'Esperimento 1, il comportamento di fissazione dei bambini è stato codificato offline da due codificatori indipendenti, e la media delle loro misurazioni è stata utilizzata per l'analisi delle latenze saccadiche. Le discrepanze tra i codificatori superiori a 40 millisecondi (8% di tutte le prove) hanno comportato la ricodifica del video. In caso di mancato accordo, la prova veniva esclusa (1,4% di tutte le prove). Per essere considerata valida e inclusa nelle analisi, una prova doveva soddisfare i seguenti criteri (vedi Valenza et al., 2015): (1) il neonato manteneva una fissazione continua su S1 per 2,7 s (i.e. tre ripetizioni del pattern temporale ritmico); (2) il neonato fissava S1 per almeno 500 ms prima che apparisse S2; (3) il neonato spostava lo sguardo verso S2 tra i 200 e i 5000 ms dopo la comparsa di S2; e (4) lo spostamento dello sguardo mirava direttamente a S2 senza soffermarsi in altre direzioni.

I partecipanti sono stati inclusi nelle analisi se avevano contribuito con almeno due prove valide in tutte le condizioni S1 overlap. Dodici bambini hanno anche contribuito con almeno due prove valide in tutte le tre condizioni S1 gap, e i loro dati sono stati inclusi nelle analisi.

Le analisi statistiche sono state condotte utilizzando lo stesso approccio dell'Esperimento 1, con l'aggiunta della condizione del compito (overlap, gap) e dell'interazione tra il tipo di S1 (statico,

ritmico, non ritmico) e la condizione del compito come predittori in modelli lineari a effetti misti sia per il numero di prove valide (i.e., il numero di prove in cui i partecipanti hanno orientato con successo lo sguardo verso S2) che per la latenza saccadica logaritmica per orientarsi verso S2. Analogamente all'Esperimento 1, l'ordine dei blocchi di prove e le sue interazioni con gli altri due fattori sono stati inclusi in un secondo set di analisi per entrambi i modelli, e sono stati valutati i miglioramenti nella bontà di adattamento. Non sono stati osservati miglioramenti significativi nell'adattamento per nessuno dei modelli (tutti $ps > 0,62$), portando all'esclusione di questo fattore dal modello. La procedura di critica del modello, che ha rimosso i valori anomali influenti che si discostavano dai residui standardizzati del gruppo di più di 3 deviazioni standard, ha comportato l'esclusione dello 0,85% delle prove per l'analisi delle latenze saccadiche e nessun dato per l'analisi sul numero di prove valide.

3.2. Risultati

La Tabella 1 riassume il numero medio e la percentuale di prove valide, insieme alla latenza media della saccade, osservati nei bambini nelle condizioni S1 statica, ritmica e non ritmica.

3.2.1. Numero di prove valide

L'analisi con modello lineare a effetti misti applicata al numero di prove valide non ha rilevato differenze significative tra le condizioni del tipo S1 ($p > .89$), né altri effetti significativi ($ps > 0.51$).

3.2.2. Latenze saccadiche

Il modello lineare a effetti misti applicato alle latenze saccadiche per orientarsi verso S2 ha rivelato un effetto principale significativo della condizione del compito, $F(1,341.66) = 49.65$, $p < .001$, indicando che i bambini mostravano un disancoraggio della fissazione più rapido nelle prove gap ($M = 522$ ms, $SE = 55.5$) rispetto alle prove overlap ($M = 829$ ms, $SE = 41.1$).

Il modello ha inoltre evidenziato un effetto principale del tipo di S1, $F(2,311.14) = 5.94$, $p = .003$, qualificato da un'interazione significativa tra il tipo di S1 e la condizione del compito, $F(2,311.33) = 8.65$, $p < .001$. Nelle prove overlap, i bambini hanno mostrato latenze saccadiche maggiori quando S1 lampeggiava in modo casuale ($M = 1021$ ms, $SE = 54.2$) rispetto a quando lampeggiava a ritmo ($M = 754$ ms, $SE = 53.0$), $t(316) = 5.41$, $p < .001$, o rimaneva statico ($M = 712$ ms, $SE = 52.4$), $t(315) = 6.37$, $p < .001$. Tuttavia, questa differenza non è stata osservata nelle prove gap, $ps = 1$ (Fig. 3).

3.2.3. Confronto tra i due studi

L'analisi combinata dei risultati degli Esperimenti 1 e 2 rivela una traiettoria di sviluppo in cui l'impatto della ritmicità sul disancoraggio attentivo diventa evidente esclusivamente a 2 mesi di età, e non prima. Per confrontare direttamente i risultati tra i due gruppi di età, è stato condotto un modello lineare a effetti misti sulle latenze saccadiche durante le prove overlap, utilizzando come predittori il tipo di S1, l'età dei partecipanti e la loro interazione, oltre a un'intercetta casuale per soggetto.

Una seconda analisi, che includeva l'ordine dei blocchi di prove e la sua interazione con gli altri fattori come predittori fissi, non ha mostrato miglioramenti significativi nell'adattamento del modello ($p = .1$). Di conseguenza, è stato mantenuto il modello originale. Dopo la rimozione degli outliers (0,21% delle prove), i risultati hanno evidenziato un effetto principale significativo dell'età dei partecipanti, $F(1,59.46) = 71.89$, $p < .001$, nonché un'interazione significativa tra età dei partecipanti e tipo di S1, $F(2,422.44) = 3.14$, $p = .044$. Questi risultati confermano l'esistenza di differenze legate all'età negli effetti del ritmo sulla latenza saccadica. I bambini di 2 mesi hanno mostrato un disancoraggio della fissazione più rapido rispetto ai neonati in tutte le condizioni di S1

($p < 0.001$). Inoltre, a 2 mesi le latenze saccadiche erano più lente nella condizione non ritmica di S1 ($M = 1154$ ms, $SE = 105$) rispetto sia alla condizione ritmica ($M = 751$ ms, $SE = 104$), $t(410) = 4.97$, $p < .001$, sia alla condizione statica ($M = 716$ ms, $SE = 103$), $t(410) = 5.70$, $p < .001$. Al contrario, nessuna di queste differenze è risultata statisticamente significativa nei neonati (tutti $p > 0.1$).

3.3. *Discussione interim*

Nel complesso, i risultati dell'Esperimento 2 hanno mostrato che, a differenza dei neonati, i bambini di 2 mesi hanno manifestato latenze saccadiche più rapide nell'orientarsi verso uno stimolo periferico quando lo stimolo centrale era statico o presentato in modo dinamico con un pattern ritmico e prevedibile, rispetto alla condizione casuale e imprevedibile.

È importante sottolineare che questa differenza nei tempi di disancoraggio è emersa esclusivamente nelle prove overlap, ma non in quelle gap. Tuttavia, il confronto tra le due condizioni non è stato equilibrato, poiché solo 12 dei 30 neonati inclusi nel campione hanno contribuito con almeno due prove valide in tutte le condizioni S1 in entrambe le tipologie di prove (gap e overlap).

Sebbene i risultati debbano essere interpretati con cautela, in quanto l'analisi potrebbe non avere una potenza statistica sufficiente, essi suggeriscono che le caratteristiche temporali dello stimolo centrale abbiano influenzato specificamente il processo di disancoraggio, che è stato facilitato dalla scomparsa di S1 nelle prove gap e si è verificato prima della comparsa di S2.

Inoltre, in linea con quanto tipicamente osservato nei compiti gap-overlap, le latenze saccadiche dei bambini nell'orientarsi verso S2 sono risultate generalmente più rapide nelle prove gap rispetto a quelle overlap, con un effetto gap di entità variabile tra 198 ms e 774 ms ($M = 390$ ms), in accordo con studi precedenti condotti su bambini di età compresa tra 0 e 2,5 mesi (es. Farroni et al., 1999; Hood & Atkinson, 1993; Matsuzawa & Shimojo, 1997).

In relazione alla nostra principale domanda di ricerca, i bambini hanno distolto più rapidamente lo sguardo da S1 quando questo era ritmico o statico, rispetto a quando lampeggiava in modo non ritmico. Il fatto che le prove overlap ritmiche abbiano prodotto latenze saccadiche più brevi rispetto a quelle non ritmiche è in linea con la l'ipotesi della Dynamic Attending Theory (DAT) (Jones & Boltz, 1989), secondo cui il ritmo svolge un ruolo facilitante nell'allocazione dinamica dell'attenzione visiva.

Secondo questa ipotesi, le aspettative temporali indotte dal ritmo creano una sorta di modello per l'orientamento dinamico dell'attenzione nel tempo. Nel compito in questione, la ritmicità di S1 ha generato uno stato di maggiore allerta in corrispondenza di ciascun intervallo temporale atteso, rendendo i bambini più ricettivi allo stimolo periferico che appariva in fase con il ritmo codificato. Al contrario, l'assenza di un pattern temporale prevedibile nella condizione non ritmica di S1 ha impedito ai neonati di sincronizzare l'attenzione con lo stimolo, determinando un disancoraggio più lento alla scomparsa dello stimolo periferico sincronizzato temporalmente.

A supporto di questa interpretazione, studi futuri dovrebbero indagare se l'orientamento più rapido verso il bersaglio in fase nella condizione ritmica sia accompagnato da risposte di orientamento più lente verso bersagli fuori fase, presentati immediatamente prima o dopo l'insorgenza di S1. Un effetto simile è stato riportato da Miller et al. (2013), dove i partecipanti erano più lenti nel rilevare un bersaglio quando questo veniva presentato fuori fase rispetto a un ritmo uditivo, mentre lo rilevavano più rapidamente quando era in fase. Tuttavia, questo effetto non si osservava quando lo stimolo uditivo era non ritmico. Resta da verificare se lo stesso fenomeno si manifesti anche nei bambini, poiché nel presente studio S2 appariva sempre in fase con S1. Sebbene i risultati osservati sembrano confermare la nostra ipotesi secondo cui il ritmo facilita l'orientamento dell'attenzione dei bambini sui momenti temporali rilevanti, altri fattori legati alla salienza dello stimolo potrebbero aver influito. Ad esempio, la natura non familiare di S1 non ritmico, rispetto ai

pattern ritmici prevalenti nell'ambiente perinatale dei bambini (vedi la revisione di Provasi et al., 2014), potrebbe aver contribuito al ritardo osservato nelle latenze saccadiche. Questo potrebbe derivare dalla difficoltà dei neonati a disancorare la loro attenzione da uno stimolo percepito come cognitivamente impegnativo a causa della sua novità e complessità. Questa ipotesi sarebbe in linea con studi precedenti che utilizzano il paradigma overlap, i quali hanno dimostrato che le latenze saccadiche verso bersagli periferici nei bambini di 3-4 mesi sono influenzate dal carico di elaborazione imposto dagli stimoli di fissazione, in particolare dalla loro salienza, complessità o familiarità (ad esempio, Blaga & Colombo, 2006; Finlay & Ivinskis, 1984; Russo et al., 2021; Valenza et al., 2015). Il fatto che le latenze saccadiche dei neonati nelle prove non ritmiche fossero più lente non solo rispetto alle prove ritmiche, ma anche a quelle statiche, supporterebbe l'ipotesi che la salienza dello stimolo possa aver avuto un ruolo nel ritardo della latenza saccadica osservato nell'Esperimento 2. Sebbene il confronto tra le condizioni statiche e dinamiche non sia del tutto equo a causa delle differenze nella salienza relativa di S1 e S2, questo risultato suggerisce ulteriormente che l'elaborazione dello stimolo non ritmico potrebbe essere più impegnativa dal punto di vista cognitivo. Per chiarire ulteriormente il meccanismo alla base dei pattern di latenza di disancoraggio osservati in bambini di 2 mesi, abbiamo esplorato la capacità relativa degli stimoli utilizzati nell'Esperimento 2 nel catturare e mantenere l'attenzione attraverso un terzo esperimento, impiegando un compito di preferenza visiva a coppie con una coorte separata di neonati di 2 mesi. Il compito di preferenza visiva consente di testare il comportamento di preferenza dello sguardo indotto da specifiche caratteristiche dello stimolo, misurando la durata dei tempi di fissazione allocati a ciascuno stimolo in una coppia (Fantz, 1961). Nell'Esperimento 3, abbiamo esaminato la preferenza del tempo di fissazione dei bambini per i pattern temporali ritmici e non ritmici degli stimoli, nonché per lo stimolo statico, presentandoli simultaneamente e bilateralmente sullo schermo.

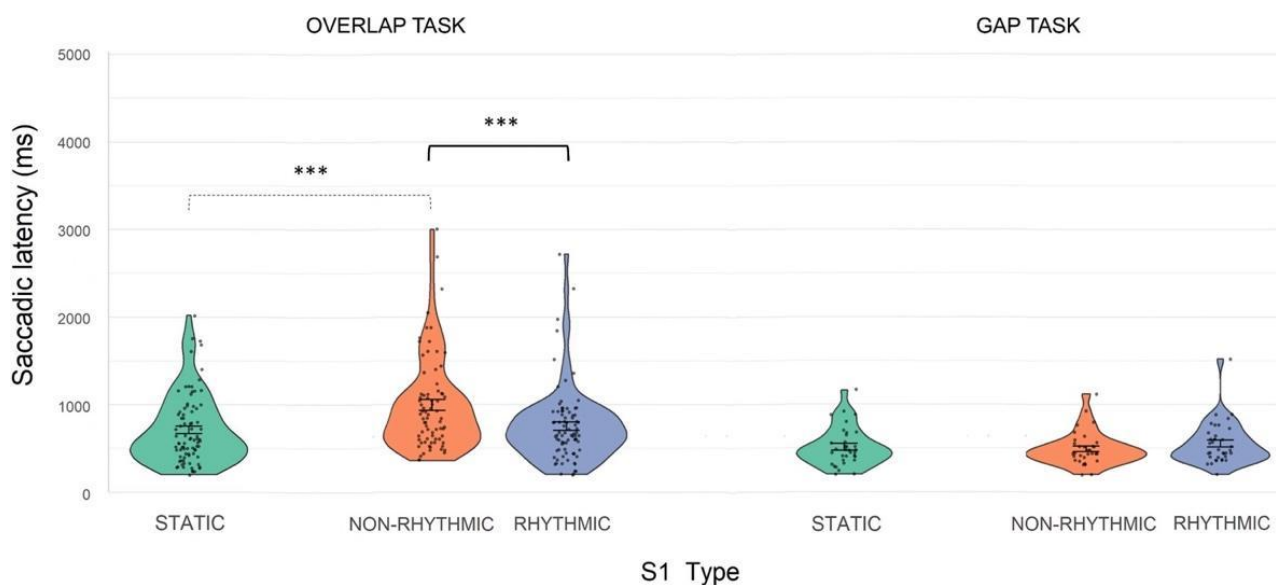


Fig. 3. Latenze saccadiche dei bambini di due mesi nell'orientarsi verso S2 (cioè il tempo trascorso tra la comparsa di S2 e il momento in cui il neonato ha iniziato una saccade verso di esso) nelle prove Ritmiche, Statiche e Non Ritmiche dei compiti Overlap e Gap dell'Esperimento 2. *** $p < .001$.

4. Esperimento 3 (bambini di 2 mesi)

Un nuovo gruppo di bambini di 2 mesi è stato sottoposto a un compito di preferenza visiva in cui, in sei prove, i tre tipi di stimoli utilizzati negli Esperimenti 1 e 2 sono stati presentati in tre confronti a coppie (non ritmico vs. ritmico; ritmico vs. statico; non ritmico vs. statico) su entrambi i lati dello schermo. Se i neonati fissavano più a lungo lo stimolo non ritmico rispetto a quello ritmico e statico, ciò avrebbe indicato che la maggiore salienza di questo stimolo era un fattore determinante nel ritardo della latenza osservato nell'Esperimento 2. Al contrario, l'assenza di differenze nei tempi di fissazione tra gli stimoli non ritmici, ritmici e statici avrebbe rafforzato l'ipotesi che bambini di appena 2 mesi utilizzino le regolarità temporali durante l'allocatione spaziale dell'attenzione visiva.

4.1. Metodi

4.1.1. Partecipanti

Hanno partecipato all'esperimento 30 bambini sani e nati a termine di 2 mesi (18 femmine, età media = 84,13 giorni, intervallo = 68–104). Provenivano tutti da famiglie di classe media. Otto neonati aggiuntivi sono stati testati ma esclusi dal campione finale a causa di irrequietezza. Non tutti i neonati hanno contribuito a tutti i confronti, determinando variazioni nella dimensione del campione tra le analisi (ritmico vs. non ritmico: $N = 25$; ritmico vs. statico: $N = 30$; non ritmico vs. statico: $N = 24$). Durante la sessione di prova, ai genitori è stato chiesto di evitare qualsiasi interazione con i loro bambini, a meno che il bambino non mostrasse segni di disagio. Il protocollo ha seguito gli standard etici della Dichiarazione di Helsinki ed è stato approvato dal Comitato Etico Milano Area 2 (ID: 964; Approvazione N. 952_2021). I genitori hanno fornito il consenso informato scritto prima della partecipazione dei loro bambini allo studio.

4.1.2. Stimoli

Lo stesso cerchio bianco pieno generato con E-Prime 2.0 e utilizzato negli Esperimenti 1 e 2 è stato impiegato come stimolo. Il cerchio veniva mostrato su entrambi i lati dello schermo con uno sfondo nero. Osservato da una distanza di circa 50 cm, sottendeva un angolo visivo di circa 12°. Come negli Esperimenti 1 e 2, il cerchio poteva rimanere fermo (statico), lampeggiare con un pattern temporale costante di 500 ms acceso-400 ms spento (ritmico), o lampeggiare senza uno schema riconoscibile (non ritmico). I tre tipi di stimoli sono stati accoppiati per creare tre coppie: ritmico vs. non ritmico, ritmico vs. statico, non ritmico vs. statico. Queste coppie di stimoli sono state presentate su entrambi i lati dello schermo a una distanza di 30°.

4.1.3 Apparatus e procedura

I bambini sono stati testati con un compito di preferenza visiva, con lo stesso dispositivo dell'Esperimento 2. Ogni prova iniziava quando il neonato fissava un punto rosso lampeggiante al centro dello schermo. Questo faceva sì che il punto centrale si disattivasse automaticamente, avviando la presentazione degli stimoli, che venivano mostrati su entrambi i lati dello schermo per 8 secondi.

Tutti i neonati hanno effettuato 6 prove, due per ogni coppia di stimoli, con la posizione sinistra-destra degli stimoli bilanciata tra le prove e la posizione iniziale degli stimoli bilanciata tra i partecipanti. Le coppie di stimoli sono state presentate in tre ordini possibili: (1) ritmico vs. non ritmico, non ritmico vs. statico, ritmico vs. statico, (2) ritmico vs. statico, ritmico vs. non ritmico, non ritmico vs. statico, (3) non ritmico vs. statico, ritmico vs. non ritmico, ritmico vs. statico. I tempi totali di fissazione su ciascuno stimolo della coppia, nelle due presentazioni di ogni coppia, rappresentavano la variabile dipendente.

4.1.4. Raccolta e analisi dei dati

Tutte le sessioni di test sono state videoregistrate. Due osservatori, all'oscuro dell'obiettivo della ricerca, hanno codificato le registrazioni video delle prove con una risoluzione fotogramma per fotogramma di 40 ms. Ogni osservatore ha registrato i tempi totali di fissazione per ciascuno stimolo di ogni coppia durante entrambe le presentazioni. La correlazione di Pearson tra le misurazioni dei due osservatori ha mostrato una forte correlazione ($r = 0,93$, $p < .001$). La media delle due misurazioni è stata calcolata e trasformata in logaritmo (vedi Csibra et al., 2016) prima di essere inserita nelle analisi statistiche.

Poiché non tutti i bambini hanno fornito dati coerenti per tutte le coppie di stimoli, sono state condotte analisi separate per ciascuna coppia. I partecipanti sono stati inclusi solo se soddisfacevano i seguenti criteri: (1) nessun bias di posizione, definito dal fissare più del 90% del tempo uno stesso stimolo in entrambe le presentazioni della coppia; (2) fissare almeno una volta entrambi gli stimoli per più di 1 secondo in almeno una delle due presentazioni della coppia. Ciò ha permesso di includere i partecipanti nell'analisi anche se avevano contribuito con una sola prova, a patto che avessero fissato entrambi gli stimoli per più di 1 secondo. Per valutare la salienza di ciascuno dei tre stimoli rispetto agli altri, sono stati eseguiti tre modelli misti separati, uno per ciascuna coppia di stimoli (ritmico vs. non ritmico, statico vs. non ritmico, ritmico vs. statico). I tempi di fissazione trasformati in logaritmo su ciascuno stimolo della coppia sono stati usati come variabile dipendente.

Le variabili indipendenti erano il tipo di stimolo e l'ordine della coppia. È stata inclusa anche l'interazione tra tipo di stimolo e ordine della coppia nei modelli. Il soggetto è stato incluso come fattore casuale. È stata applicata una procedura di critica del modello per identificare ed eliminare eventuali valori anomali, ma non ne sono stati trovati in nessuno dei tre modelli considerati.

4.2. Risultati e discussione

Venticinque bambini hanno contribuito all'analisi dei tempi di fissazione logaritmici tra prove ritmiche e non ritmiche. I risultati hanno rivelato un effetto principale significativo dell'ordine delle coppie, $F(2,24.1) = 10.09$, $p < .001$. I confronti post-hoc con correzione di Bonferroni hanno indicato che i bambini mostravano tempi di fissazione complessivamente più brevi quando testati con l'ordine delle coppie 3 ($M = 1419$ ms, $SE = 267$) rispetto agli ordini delle coppie 1 ($M = 2615$ ms, $SE = 229$), $t(23.2) = 4.03$, $p = .002$, e 2 ($M = 2556$ ms, $SE = 205$), $t(23.7) = 3.967$, $p = .002$. Inoltre, è emersa anche un'interazione significativa tra ordine della coppia e tipo di stimolo, $F(2,45.45) = 4.95$, $p = .011$. Tuttavia, questa interazione è stata considerata spuria dopo aver condotto confronti post-hoc con correzione di Bonferroni, che non hanno rivelato differenze significative tra i tipi di stimolo nei diversi ordini delle coppie (tutti $ps > 0.08$). L'effetto principale del tipo di stimolo non è risultato statisticamente significativo, $p > .76$ (Fig. 4). L'analisi sui tempi di fissazione logaritmici tra prove ritmiche e statiche è stata condotta su un sottoinsieme di 30 bambini. Anche in questo caso, è emerso un effetto principale significativo dell'ordine delle coppie $F(2,58) = 6.029$, $p = .004$, e i confronti post-hoc (correzione di Bonferroni) hanno evidenziato che i bambini mostravano tempi di fissazione complessivamente più brevi durante l'ordine delle coppie 3 ($M = 1518$ ms, $SE = 310$) rispetto agli ordini delle coppie 1 ($M = 2660$ ms, $SE = 280$), $t(20.7) = 3.093$, $p = .017$, e 2 ($M = 2666$ ms, $SE = 238$), $t(18.5) = 3.000$, $p = .023$. Né l'effetto principale né l'interazione che coinvolge il fattore tipo di stimolo sono risultati statisticamente significativi, $ps > 0.43$ (Fig. 4).

L'analisi sui tempi di fissazione logaritmici tra prove non ritmiche e statiche ha incluso un sottoinsieme di 24 bambini. È stato osservato un effetto principale significativo dell'ordine delle coppie, $F(2,62) = 5.67$, $p = .005$. I confronti post-hoc (correzione di Bonferroni) hanno mostrato che i tempi di fissazione complessivi dei bambini per l'ordine delle coppie 3 ($M = 1675$ ms, $SE = 293$) erano significativamente più brevi rispetto a quelli per l'ordine delle coppie 1 ($M = 2812$ ms, $SE = 239$), $t(22) = 3.226$, $p = .01$, e marginalmente più brevi rispetto a quelli per l'ordine delle coppie 2

($M = 2517$ ms, $SE = 220$), $t(17.1) = 2.613$, $p = .054$. Il modello non ha rilevato effetti significativi che coinvolgessero il fattore tipo di stimolo, $p_s > 0.15$ (Fig. 4).

Nel complesso, i risultati indicano che gli stimoli ritmici, non ritmici e statici utilizzati nel compito gap-overlap dell'Esperimento 2 hanno una capacità equivalente nel catturare e mantenere l'attenzione visiva dei bambini di 2 mesi, almeno quando presentati all'interno di un paradigma di scelta forzata. La mancanza di preferenza per gli stimoli dinamici (ritmici e non ritmici) rispetto agli stimoli statici potrebbe sembrare in contraddizione con le dimostrazioni precedenti secondo cui i bambini di 2 mesi mostrano una preferenza visiva per gli stimoli che lampeggiano rispetto a quelli statici (ad esempio, Hartmann & Banks, 1992; Regal, 1981). Tuttavia, è fondamentale notare che questi studi precedenti utilizzavano griglie di intensità di contrasto variabile, in combinazione con un campo uniforme statico, a differenza degli stimoli impiegati nello studio attuale. Piuttosto, l'assenza di preferenza per lo stimolo non ritmico rispetto a quello ritmico nell'Esperimento 3 indica che la salienza o la complessità dello stimolo non possono spiegare completamente le differenze nel disancoraggio dell'attenzione osservate nell'Esperimento 2.

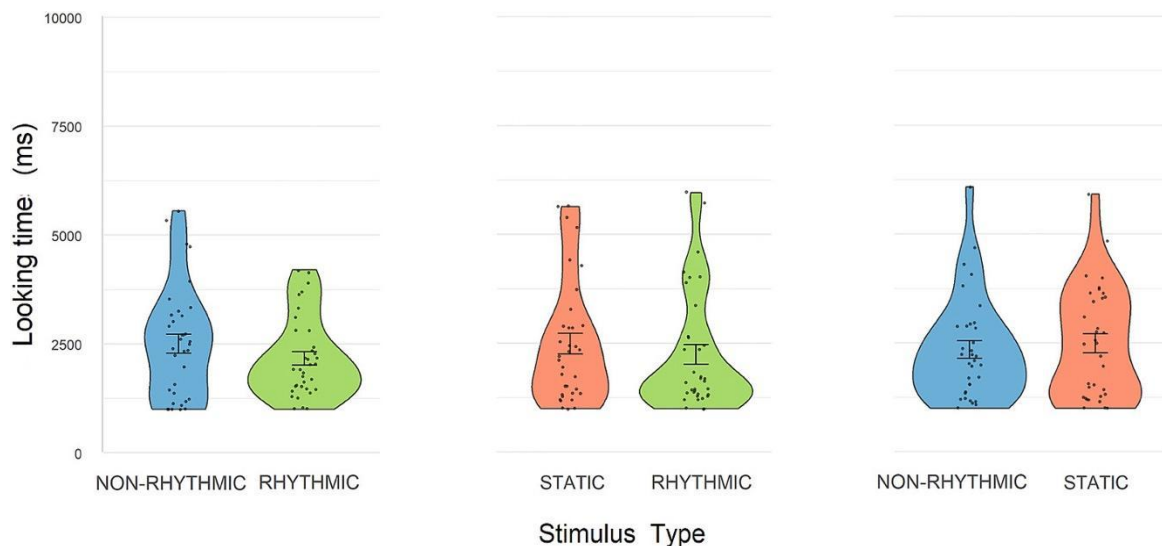


Fig. 4. *Tempo totale di fissazione su ciascuno stimolo durante entrambe le presentazioni di prova di ogni coppia di stimoli nell'Esperimento 3.*

5. Discussione generale

Gli studi presentati hanno investigato l'impatto del ritmo sul disancoraggio dell'attenzione visuo-spaziale nei neonati e nei bambini di 2 mesi. I principali risultati degli Esperimenti 1 e 2 hanno rivelato che, in condizioni sperimentali simili, i bambini di 2 mesi, ma non i neonati, mostravano latenze saccadiche più veloci nel disancorarsi da uno stimolo di fissazione centrale (S1) quando era statico e ritmico, rispetto a quando era non ritmico. Questi risultati suggeriscono l'importanza della struttura temporale degli stimoli dinamici come una caratteristica specifica che modula il disancoraggio dell'attenzione a 2 mesi di età. In particolare, l'assenza di una preferenza visiva per lo stimolo non ritmico rispetto agli stimoli ritmici e statici nell'Esperimento 3 suggerisce che le differenze nelle latenze saccadiche osservate tra le condizioni nell'Esperimento 2 probabilmente non possono essere attribuite alla salienza dello stimolo. La ricerca ha mostrato che

negli adulti, la latenza dei movimenti oculari saccadici per spostare l'attenzione visiva da uno stimolo a un altro è significativamente più breve quando il target periferico appare in sincronia con un battito ritmico e prevedibile rispetto a un battito casuale e imprevedibile (Miller et al., 2013). I risultati attuali estendono questa evidenza al dominio visivo, mostrando che sin dalle prime fasi dello sviluppo post-natale, i bambini possono sfruttare il ritmo visivo per migliorare l'efficienza della loro attenzione visuo-spaziale. Questi risultati sono in linea con evidenze recenti che mostrano che a 2 mesi, la stimolazione ritmica audiovisiva orienta il comportamento visivo dei bambini in contesti sociali (Lense et al., 2022). Un aspetto dei risultati attuali che appare in contrasto con l'interpretazione dell'allineamento dell'attenzione degli effetti osservati riguarda l'assenza di differenze tra le condizioni statica e ritmica. Come già notato, le due condizioni differiscono per la salienza relativa di S1 e S2, il che rende ingiusta una comparazione diretta. Tuttavia, si potrebbe affermare che, se il ritmo avesse facilitato l'allocatione dell'attenzione nei punti temporali rilevanti, avremmo osservato una latenza saccadica più breve nelle prove ritmiche, non solo rispetto alle prove non ritmiche, ma anche rispetto a quelle statiche. Una possibile ragione per cui ciò non è accaduto è che le condizioni statica e ritmica fornivano un livello simile (elevato) di prevedibilità dello stimolo centrale, il cui processamento potrebbe essere stato quindi altrettanto impegnativo. Ciò potrebbe aver facilitato lo spostamento dell'attenzione verso S2 periferico in modo comparabile. Tuttavia, se fosse stato così, avremmo osservato tempi di fissazione più lunghi verso lo stimolo non ritmico nel compito di preferenza visiva dell'Esperimento 3, come effetto della sua maggiore entropia e minore prevedibilità, ma ciò non è accaduto. Sono necessari futuri studi che manipolino la sincronia temporale tra lo stimolo centrale e quello periferico per chiarire ulteriormente il ruolo dell'allineamento dell'attenzione come fonte principale degli effetti di latenza osservati. Un altro risultato interessante è la presenza di un pattern evolutivo nell'impatto del ritmo sulle latenze saccadiche, poiché l'effetto è stato evidente nei bambini più grandi (Esperimento 2) e non nei neonati (Esperimento 1). Fattori maturativi ed esperienziali potrebbero essere responsabili di questa tendenza. Come discusso in precedenza, la sensibilità aumentata dei neonati agli stimoli lampeggianti, che è nota per diminuire nel tempo (Valenza et al., 2015), potrebbe aver offuscato qualsiasi potenziale influenza del ritmo durante il disancoraggio. I cambiamenti maturativi nella capacità del cervello di generare risposte risonanti alla frequenza di uno stimolo periodico esterno, i.e. il tracking dello stimolo o l'*entrainment* (Bánki et al., 2022), potrebbero aver contribuito anche ai risultati osservati. Ad esempio, gli stimoli visivi isocroni suscitano una risposta cerebrale evocata sincronizzata con la frequenza degli stimoli nel cervello dei neonati (e.g., Buiatti et al., 2019), la frequenza massima di luce lampeggiante che suscita tale risposta aumenta rapidamente tra 1 e 3 mesi, raggiungendo livelli simili a quelli degli adulti intorno ai 9 mesi (Apkarian, 1993). È stato anche affermato che, mentre la sincronizzazione neurale nei neonati riflette una semplice risposta cerebrale evocata da stimoli pulsanti regolari (cosiddetto *dumb entrainment*), forme più complesse di sincronizzazione neurale, che coinvolgono l'anticipazione o la previsione (cosiddetto *smart entrainment*), emergerebbero successivamente nello sviluppo (Wass et al., 2022). Simile a quanto osservato in precedenti studi comportamentali negli adulti che dimostrano l'effetto migliorativo del ritmo sull'attenzione e la percezione (e.g., Elbaz & Yeshurun, 2020), lo studio attuale ha esposto i bambini a un numero limitato di pattern ritmici ripetuti (da 4 a 10), probabilmente insufficienti per suscitare qualsiasi forma di sincronizzazione neurale. Pertanto, il contributo dei cambiamenti maturativi nella sincronizzazione neurale al pattern evolutivo osservato rimane da esplorare.

I nostri risultati sollevano anche l'affascinante possibilità che la ricca esposizione multisensoriale a segnali ritmici che accompagna le interazioni sociali nell'ambiente postnatale precoce possa giocare un ruolo critico nell'emergere della capacità di sfruttare il ritmo per allocare efficientemente l'attenzione visuo-spaziale. La ritmicità è al centro delle pratiche genitoriali. In particolare, l'esposizione ambientale dei neonati durante i primi due mesi di vita ruota principalmente attorno

alle interazioni diadiche, che forniscono una ricchezza di stimolazioni multisensoriali ritmiche attraverso il linguaggio diretto al bambino, il canto, le canzoni per bambini e le ninne nanne. Queste forme di stimolazione uditiva si distinguono per le loro regolarità temporali accentuate (ad esempio, Nakata & Trehub, 2011), a cui il cervello e il comportamento visivo dei neonati si sincronizzano facilmente (Lense et al., 2022; Nguyen et al., 2023). Inoltre, la stimolazione multisensoriale ritmica proviene anche dall'alternanza dei turni durante l'allattamento o dalle pratiche genitoriali per calmare il bambino tramite dondolii e carezze (ad esempio, Gratier et al., 2015). Questa ricca esposizione precoce a segnali ritmici potrebbe rendere i bambini sempre più sensibili al ritmo e aumentare la loro dipendenza dalle informazioni ritmiche per una distribuzione dell'attenzione più efficiente. Questa ipotesi potrebbe essere ulteriormente esplorata in studi futuri che manipolino la quantità di esposizione prenatale e/o postnatale tramite interventi di stimolazione e protocolli di arricchimento, osservando gli effetti sulla capacità dei bambini di utilizzare le regolarità temporali per l'allocazione dell'attenzione.

I risultati del presente studio sottolineano l'importanza della struttura temporale degli stimoli dinamici come una caratteristica specifica che modula il disancoraggio dell'attenzione visiva a 2 mesi di età. La capacità di disancorare efficacemente l'attenzione visiva da un punto di fissazione è una competenza cruciale per orientarsi nell'ambiente esterno e interagire con nuovi stimoli. Numerosi studi hanno enfatizzato l'importanza di questo meccanismo attentivo per una vasta gamma di capacità, tra cui la regolazione iniziale dello stato (Rothbart et al., 2011), la mitigazione del disagio (McConnell & Bryson, 2005) e il riconoscimento delle parole pronunciate (Venker, 2017). Latenze saccadiche prolungate sono state osservate nei bambini a rischio di disturbo dello spettro autistico, un risultato che potrebbe essere legato ai disturbi autoregolatori e linguistici manifestati da questi bambini (Elsabbagh et al., 2013; Venker, 2017). Di conseguenza, esaminare le strategie per favorire lo sviluppo di un disancoraggio attentivo efficiente fin dalle prime fasi di vita è di fondamentale importanza. I presenti studi forniscono preziose intuizioni in tal senso, offrendo la prima evidenza che le regolarità temporali possono influenzare positivamente il distacco visuoattentivo nel periodo postnatale precoce e aprendo la strada all'identificazione di programmi di intervento precoce mirati a sostenere questa competenza attentiva essenziale.

BIBLIOGRAFIA

- Abboub, N., Nazzi, T., & Gervain, J. (2016). Prosodic grouping at birth. *Brain and Language*, 162, 46–59.
- Adler, S. A., Haith, M. M., Arehart, D. M., & Lanthier, E. C. (2008). Infants' visual expectations and the processing of time. *Journal of Cognition and Development*, 9(1), 1–25. <https://doi.org/10.1080/15248370701836568>
- Apkarian, P. (1993). Temporal frequency responsivity shows multiple maturational phases: State-dependent visual evoked potential luminance flicker fusion from birth to 9 months. *Visual Neuroscience*, 10(6), 1007–1018.
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59 (4), 390–412.
- Bahrack, L. E., & Lickliter, R. (2004). Infants' perception of rhythm and tempo in unimodal and multimodal stimulation: A developmental test of the intersensory redundancy hypothesis. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 4(2), 137–147. <https://doi.org/10.3758/CABN.4.2.137/METRICKS>
- B' anki, A., Brzozowska, A., Hoehl, S., & Koster, M. (2022). Neural entrainment vs. stimulus-tracking: A conceptual challenge for rhythmic perceptual stimulation in developmental neuroscience. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 878984.
- Barnes, R., & Jones, M. R. (2000). Expectancy, attention, and time. *Cognitive Psychology*, 41(3), 254–311. <https://doi.org/10.1006/COGP.2000.0738>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., Christensen, R. H. B., Singmann, H., Dai, B., Scheipl, F., Grothendieck, G., & Green, P. (2009). Package 'lme4'. URL <http://lme4.r-forge.r-project.org>.
- Besle, J., Schevon, C. A., Mehta, A. D., Lakatos, P., Goodman, R. R., McKhann, G. M., ... Schroeder, C. E. (2011). Tuning of the human neocortex to the temporal dynamics of attended events. *Journal of Neuroscience*, 31(9), 3176–3185.
- Blaga, O. M., & Colombo, J. (2006). Visual processing and infant ocular latencies in the overlap paradigm. *Developmental Psychology*, 42(6), 1069.
- Buiatti, M., Di Giorgio, E., Piazza, M., Polloni, C., Menna, G., Taddei, F., ... Vallortigara, G. (2019). Cortical route for facelike pattern processing in human newborns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(10), 4625–4630.
- Butcher, P. R., Kalverboer, A. F., & Geuze, R. H. (2000). Infants' shifts of gaze from a central to a peripheral stimulus: A longitudinal study of development between 6 and 26 weeks. *Infant Behavior and Development*, 23(1), 3–21.
- Canfield, R. L., & Haith, M. M. (1991). Young infants' visual expectations for symmetric and asymmetric stimulus sequences. *Developmental Psychology*, 27(2), 198.
- Csibra, G., Hernik, M., Mascaró, O., Tatone, D., & Lengyel, M. (2016). Statistical treatment of looking-time data. *Developmental Psychology*, 52(4), 521.
- Edalati, M., Wallois, F., Safaie, J., Ghostine, G., Kongolo, G., Trainor, L. J., & Moghimi, S. (2023). Rhythm in the premature neonate brain: Very early processing of auditory beat and meter. *Journal of Neuroscience*. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1100-22.2023>. JN-RM-1100-22.
- Elbaz, A., & Yeshurun, Y. (2020). Can rhythm-induced attention improve the perceptual representation? *PLoS One*, 15(4), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231200>

- Elsabbagh, M., Fernandes, J., Webb, S. J., Dawson, G., Charman, T., Johnson, M. H., & Team, B. A. S. of I. S. (2013). Disengagement of visual attention in infancy is associated with emerging autism in toddlerhood. *Biological Psychiatry*, 74(3), 189–194.
- Fantz, R. L. (1961). A method for studying depth perception in infants under six months of age. *The Psychological Record*, 11, 27.
- Farroni, T., Simion, F., Umiltà, C., & Dalla Barba, B. (1999). The gap effect in newborns. *Developmental Science*, 2(2), 174–186. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00066>
- Finlay, D., & Ivinskis, A. (1984). Cardiac and visual responses to moving stimuli presented either successively or simultaneously to the central and peripheral visual fields in 4-month-old infants. *Developmental Psychology*, 20(1), 29–36. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.20.1.29>
- Goswami, U. (2022). Language acquisition and speech rhythm patterns: An auditory neuroscience perspective. *Royal Society Open Science*, 9(7). <https://doi.org/10.1098/rsos.211855>
- Gratier, M., Devouche, E., Guellai, B., Infanti, R., Yilmaz, E., & Parlato-Oliveira, E. (2015). Early development of turn-taking in vocal interaction between mothers and infants. *Front. Psychol.*, 6, 1167. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01167>
- Green, P., & Macleod, C. J. (2016). SIMR: An R package for power analysis of generalized linear mixed models by simulation. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(4), 493–498. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12504>
- Guttman, S. E., Gilroy, L. A., & Blake, R. (2005). Hearing what the eyes see: Auditory encoding of visual temporal sequences. *Psychological Science*, 16(3), 228–235.
- Hartmann, E. E., & Banks, M. S. (1992). Temporal contrast sensitivity in human infants. *Vision Research*, 32(6), 1163–1168.
- Hepper, P. G., & Shahidullah, B. S. (1994). The development of fetal hearing. *Fetal and Maternal Medicine Review*, 6(3), 167–179.
- Hood, B. M., & Atkinson, J. (1993). Disengaging visual attention in the infant and adult. *Infant Behavior and Development*, 16(4), 405–422.
- Hunnius, S., & Geuze, R. H. (2004). Gaze shifting in infancy: A longitudinal study using dynamic faces and abstract stimuli. *Infant Behavior and Development*, 27(3), 397–416.
- Johnson, M. H. (1990). Cortical maturation and the development of visual attention in early infancy. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2(2), 81–95.
- Johnson, M. H., Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1991). Components of visual orienting in early infancy: Contingency learning, anticipatory looking, and disengaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 3(4), 335–344.
- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 96(3), 459–491. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.3.459>
- Jones, M. R., Johnston, H. M., & Puente, J. (2006). Effects of auditory pattern structure on anticipatory and reactive attending. *Cognitive Psychology*, 53(1), 59–96. <https://doi.org/10.1016/J.COGLPSYCH.2006.01.003>
- Keitel, C., Ruzzoli, M., Duguè, L., Busch, N. A., & Benwell, C. S. Y. (2022). Rhythms in cognition: The evidence revisited. *European Journal of Neuroscience*, 55(11– 12), 2991–3009. <https://doi.org/10.1111/ejn.15740>

- Kisilevsky, B. S., Hains, S. M. J., Jacquet, A. Y., Granier-Deferre, C., & Lecanuet, J. P. (2004). Maturation of fetal responses to music. *Developmental Science*, 7(5), 550–559. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2004.00379.x>
- Kotz, S. A., Ravignani, A., & Fitch, W. T. (2018). The evolution of rhythm processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(10), 896–910.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82, 1–26.
- Lakatos, P., Karmos, G., Mehta, A. D., Ulbert, I., & Schroeder, C. E. (2008). Entrainment of neuronal oscillations as a mechanism of attentional selection. *Science*, 320(5872), 110–113.
- Lecanuet, J., & Jacquet, A. (2002). Fetal responsiveness to maternal passive swinging in low heart rate variability state: Effects of stimulation direction and duration. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 40(1), 57–67.
- Lense, M. D., Shultz, S., Astesano, C., & Jones, W. (2022). Music of infant-directed singing entrains infants' social visual behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(45), Article e2116967119.
- Lewis, T. L., Maurer, D., Burhanpurkar, A., & Anvari, S. H. (1996). The influence of flicker on S-month-olds' peripheral vision. *Investigative Ophthalmology*, 9.
- Liparoti, M., & Minino, R. (2021). Rhythm and movement in developmental age. *Journal of Human Sport and Exercise*, 16(Proc3), S930–S937. <https://doi.org/10.14198/jhse.2021.16.Proc3.10>
- Mampe, B., Friederici, A. D., Christophe, A., & Wermke, K. (2009). Newborns' cry melody is shaped by their native language. *Current Biology*, 19(23), 1994–1997.
- Mathewson, K. E., Fabiani, M., Gratton, G., Beck, D. M., & Lleras, A. (2010). Rescuing stimuli from invisibility: Inducing a momentary release from visual masking with pre-target entrainment. *Cognition*, 115(1), 186–191. <https://doi.org/10.1016/J.COGNITION.2009.11.010>
- Matsuzawa, M., & Shimojo, S. (1997). Infants' fast saccades in the gap paradigm and development of visual attention. *Infant Behavior and Development*, 20(4), 449–455.
- McAuley, J. D. (2010). Tempo and rhythm. *Music Perception*, 165–199.
- McConnell, B. A., & Bryson, S. E. (2005). Visual attention and temperament: Developmental data from the first 6 months of life. *Infant Behavior and Development*, 28(4), 537–544.
- Mento, G., & Valenza, E. (2016). Spatiotemporal neurodynamics of automatic temporal expectancy in 9-month old infants. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep36525>
- Miller, J. E., Carlson, L. A., & McAuley, J. D. (2013). When what you hear influences when you see: Listening to an auditory rhythm influences the temporal allocation of visual attention. *Psychological Science*, 24(1), 11–18. <https://doi.org/10.1177/0956797612446707>
- Minai, U., Gustafson, K., Fiorentino, R., Jongman, A., & Sereno, J. (2017). Fetal rhythm-based language discrimination: A biomagnetometry study. *Neuroreport*, 28(10), 561. <https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000000794>
- Moon, C., Cooper, R. P., & Fifer, W. P. (1993). Two-day-olds prefer their native language. *Infant Behavior and Development*, 16(4), 495–500.
- Morrongiello, B. A., Fenwick, K. D., & Nutley, T. (1998). Developmental changes in associations between auditory-visual events. *Infant Behavior and Development*, 21(4), 613–626.

- Nakata, T., & Trehub, S. E. (2011). Expressive timing and dynamics in infant-directed and non-infant-directed singing. *Psychomusicology: Music, Mind and Brain*, 21(1–2), 45–53. <https://doi.org/10.1037/H0094003>
- Nazzi, T., Bertoncini, J., & Mehler, J. (1998). Language discrimination by newborns: Toward an understanding of the role of rhythm. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3), 756.
- Nguyen, T., Reisner, S., Lueger, A., Wass, S. V., Hoehl, S., & Markova, G. (2023). Sing to me, baby: Infants show neural tracking and rhythmic movements to live and dynamic maternal singing.
- Provasi, J., Anderson, D. I., & Barbu-Roth, M. (2014). Rhythm perception, production, and synchronization during the perinatal period. *Frontiers in Psychology*, 5(SEP). <https://doi.org/10.3389/FPSYG.2014.01048>
- Ramus, F., Hauser, M. D., Miller, C., Morris, D., & Mehler, J. (2000). Language discrimination by human newborns and by cotton-top tamarin monkeys. *Science*, 288(5464), 349–351.
- Ravignani, A. (2019). Rhythm and synchrony in animal movement and communication. *Current Zoology*, 65(1), 77–81.
- Ravignani, A., & Madison, G. (2017). The paradox of isochrony in the evolution of human rhythm. *Frontiers in Psychology*, 8(NOV). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01820>
- Regal, D. M. (1981). Development of critical flicker frequency in human infants. *Vision Research*, 21(4), 549–555.
- Rohenkohl, G., & Nobre, A. C. (2011). Alpha oscillations related to anticipatory attention follow temporal expectations. *Journal of Neuroscience*, 31(40), 14076–14084. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3387-11.2011>
- Rothbart, M. K., Sheese, B. E., Rueda, M. R., & Posner, M. I. (2011). Developing mechanisms of self-regulation in early life. *Emotion Review*, 3(2), 207–213.
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA
URL <http://www.rstudio.com/>.
- Russo, S., Calignano, G., Dispaladro, M., & Valenza, E. (2021). An integrated perspective on spatio-temporal attention and infant language acquisition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1592.
- Sato, Y., Sogabe, Y., & Mazuka, R. (2010). Discrimination of phonemic vowel length by Japanese infants. *Developmental Psychology*, 46(1), 106.
- Trainor, L. J., & Cirelli, L. (2015). Rhythm and interpersonal synchrony in early social development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 45–52.
- Valenza, E., Otsuka, Y., Bulf, H., Ichikawa, H., Kanazawa, S., & Yamaguchi, M. K. (2015). Face orientation and motion differently affect the deployment of visual attention in newborns and 4-month-old infants. *PLoS One*, 10(9), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136965>
- Valenza, E., Simion, F., Cassia, V. M., & Umiltà, C. (1996). Face preference at birth. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(4), 892.
- Venker, C. E. (2017). Spoken word recognition in children with autism spectrum disorder: The role of visual disengagement. *Autism*, 21(7), 821–829.
- Vogelsang, M., Vogelsang, L., Diamond, S., & Sinha, P. (2022). Prenatal auditory experience and its sequelae. *Developmental Science*, April, 1–9. <https://doi.org/10.1111/desc.13278>

Wass, S. V., Amado, M. P., & Ives, J. (2022). Oscillatory entrainment to our early social or physical environment and the emergence of volitional control. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 54, Article 101102.

Winkler, I., Haden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(7), 2468–2471. <https://doi.org/10.1073/PNAS.0809035106>