

**L'interazione con l'ambiente nei bambini e negli adulti sordi:
aspetti percettivi ed attentivi**

Benedetta Heimler¹ e Francesco Pavani^{1,2}

1. Centro Interdipartimentale Mente e Cervello (CIMEC), Università di Trento
2. Dipartimento di Psicologia e Scienze Cognitive, Università di Trento

Autori per la corrispondenza:

Benedetta Heimler e Francesco Pavani

Centro Interdipartimentale Mente e Cervello (CIMEC), Università di Trento

Corso Bettini 31, 38068, Rovereto (TN)

E-mail: benedetta.heimler@unitn.it; francesco.pavani@unitn.it;

Parole chiave: sordità bilaterale profonda, plasticità cross-modale, percezione, attenzione, adulti, bambini

Intestazione: Abilità attentive e percettive nella sordità

Giornale Italiano di Psicologia, in corso di stampa

RIASSUNTO

Una crescente mole di studi sugli adulti con sordità bilaterale profonda riporta cambiamenti di plasticità cross-modale in questa popolazione, ovvero una sostanziale riorganizzazione, di natura sia percettiva sia attentiva, rispetto alle persone udenti. Quanto queste riorganizzazioni dipendano dalla sola deprivazione sensoriale, oppure possano risultare da intensi allenamenti di natura visiva anche in assenza di deprivazione, è tutt'oggi oggetto di studio. Inoltre, pochi sono i lavori che si sono interessati al decorso evolutivo di questi cambiamenti e, soprattutto, manca un confronto diretto tra questi lavori e quelli presenti sulla popolazione adulta. In questa rassegna presenteremo criticamente gli studi sugli effetti di plasticità cross-modale negli adulti sordi, suddividendoli in base alle capacità percettive ed attentive, che sono a nostro avviso fondamentali per interagire efficacemente con l'ambiente. Inoltre, integreremo per la prima volta questa letteratura con gli studi presenti sui bambini sordi per le medesime abilità. L'obiettivo è delineare un quadro quanto più esaustivo sulle conoscenze che finora si hanno sulla riorganizzazione delle modalità di interazione ed esplorazione dell'ambiente in seguito a sordità.

INTRODUZIONE

Le sordità bilaterali, profonda (perdita >90 dB nell'orecchio migliore) e severa (perdita >70 dB nell'orecchio migliore), sono condizioni di deprivazione sensoriale che colpiscono in Italia circa 1-2 bambini ogni 1000 nati per anno (Cadoni e Quaranta, 2011). La maggior parte delle indagini sistematiche, condotte su bambini e adulti sordi, ha esaminato le capacità di percezione uditiva legate all'eventuale residuo acustico e le abilità linguistiche di questa popolazione (per una rassegna si veda, ad es. Marschark, 2006; Caselli, Maragna e Volterra, 2006). Inoltre, nel caso di persone sorde parlanti la lingua dei segni vi sono anche svariati lavori che hanno esaminato le abilità mnestiche per materiale linguistico (es., Wilson et al., 1997; Bavelier et al., 2008; Gozzi et al., 2011;) e le abilità di memoria visuo-spaziale in questa popolazione (es., Wilson et al., 1997; Geraci et al., 2008). Tuttavia, la deprivazione acustica genera anche cambiamenti nel modo di interagire ed esplorare l'ambiente, a causa della forte richiesta insita in questa condizione di monitorare efficacemente l'ambiente circostante attraverso le modalità sensoriali rimanenti e principalmente tramite la vista. Con il termine plasticità cross-modale ci si riferisce proprio allo studio di tali cambiamenti.

Nella popolazione sorda, l'insieme delle ricerche svolte sull'argomento, ha principalmente riguardato la popolazione adulta, mostrando una sostanziale riorganizzazione delle abilità visive negli adulti sordi rispetto agli udenti (per una rassegna che affronti in maniera più sistematica i cambiamenti plastici a livello anatomico osservati nelle persone sorde rispetto a quelle udenti, si veda Pavani e Röder, in stampa). Questa riorganizzazione riguarda selettivamente alcune abilità visive e non altre (per una rassegna si veda Pavani e Bottari, 2011). Identificare quali abilità effettivamente cambiano nelle persone sorde, consente di definire in maniera sempre più precisa le funzioni cognitive coinvolte negli effetti di plasticità cross-modale e offre anche l'importante possibilità applicativa di progettare ambienti comunicativi o lavorativi più appropriati, e costruire risorse (es. siti internet dedicati) meglio fruibili da questa popolazione. Per quel che riguarda il periodo dello sviluppo, invece, sono pochissimi gli studi che hanno indagato il percorso evolutivo della riorganizzazione percettiva e attentiva documentata nella popolazione adulta. Riteniamo tuttavia che si tratti di un ambito altamente informativo: da un punto di vista teorico può servire per

capire come le differenze osservate tra adulti sordi e udenti si stabilizzino nel corso dello sviluppo, da un punto di vista applicativo può consentire di ottimizzare gli ambienti didattici, riabilitativi e familiari dei bambini sordi. L'obiettivo principale di questa rassegna è dunque presentare un quadro critico delle conoscenze disponibili ad oggi sull'adulto sordo, relativamente ai processi percettivi ed attentivi, e confrontarlo ed integrarlo, per la prima volta, con quello che si sa delle medesime abilità durante lo sviluppo.

In aggiunta, sia nei lavori sugli adulti sia in quelli sui bambini sordi, è ancora poco sistematizzata la differenziazione tra gli effetti di plasticità cross-modale dovuti alla privazione sensoriale in quanto tale, e gli effetti dovuti ad apprendimenti intensivi che potrebbero di per sé potenziare le capacità percettive ed attentive nelle modalità sensoriali intatte. A nostro avviso è cruciale cercare di dissociare questi due aspetti in modo da costruire un quadro teorico di riferimento sempre più esaustivo. Il secondo obiettivo di questa rassegna è quindi discriminare, laddove possibile, tra fenomeni di plasticità cross-modale principalmente attribuibili alla sordità di per sé, e fenomeni ascrivibili invece all'acquisizione fin dalla nascita di una lingua visivo-gestuale (es. Lingua Italiana dei Segni, LIS) anche in assenza di privazione uditiva, o a qualche altra forma di intenso allenamento visivo. A tal proposito, particolarmente interessante è la popolazione dei giocatori di video-giochi d'azione, di seguito definiti udenti VGA. Questa popolazione costituisce, infatti, un ottimo gruppo di controllo rispetto alle persone sorde, poiché gli udenti VGA si sottopongono ad un intenso allenamento visivo per molti versi simile a quello richiesto alle persone sorde per orientarsi nell'ambiente esterno, senza però essere privati di alcuna modalità sensoriale. Recentemente, gli udenti VGA sono stati testati in molti dei paradigmi visivi utilizzati con gli adulti sordi, ottenendo risultati sostanzialmente paragonabili tra le due popolazioni (per una rassegna sulle abilità visive degli udenti VGA si veda Achtman et al, 2008).

ADULTI SORDI

In questa prima parte della rassegna, organizzata in quattro sezioni, tratteremo della capacità degli adulti sordi di rilevare stimoli appena percepibili (ovvero vicini alla soglia percettiva), di reagire rapidamente agli stimoli dell'ambiente, di localizzarli e

riconoscerli e, infine, di controllare e orientare l'attenzione nello spazio.

Percezione di stimoli a soglia

Le soglie percettive sono le soglie al di sotto delle quali un dato stimolo sensoriale non viene consapevolmente percepito. Lo studio di tali soglie è un esempio di come alcune abilità visive non mutino in seguito a sordità: esse infatti si sono dimostrate sostanzialmente equiparabili tra persone sorde e udenti per svariate caratteristiche visive, come la discriminabilità dei colori (Heider e Heider, 1940), la luminanza (Bross, 1979), la velocità di movimento (es. Brozinsky e Bavelier, 2004), la capacità di rilevare se due stimoli in rapida successione siano distinti o continui (flicker-fusion) o l'ordine nel quale sono stati presentati (Poizner e Tallal, 1987). Tale equiparabilità, inoltre, è stata osservata indipendentemente dall'acquisizione o meno di una lingua dei segni fin dalla nascita. Infine, non è stata mostrata differenza tra sordi e udenti neanche per la discriminazione di frequenze di stimolazione tattile (Levanen e Hamdorf, 2001).

In questo contesto di prestazioni equiparabili, un'importante eccezione è rappresentata dai lavori di Stevens e Neville (2006) e Buckley et al. (2010) sulla dimensione del campo visivo delle persone sorde. In un compito di perimetria cinetica, rispetto agli udenti, le persone sorde rilevano la presenza di stimoli visivi che si muovono dalla periferia verso il centro del campo visivo già a partire da posizioni più periferiche, e ciò accade indipendentemente dall'utilizzo di una lingua dei segni (Buckley et al., 2010; Stevens e Neville, 2006). Buckley e colleghi (2010) hanno testato con lo stesso paradigma, anche un gruppo di udenti VGA, riscontrando un vantaggio paragonabile a quello osservato nelle persone sorde. Questo risultato suggerisce che questa forma di allenamento percettivo, benché non accompagnata da alcuna deprivazione sensoriale, possa modificare la dimensione del campo visivo.

Recentemente, lo stesso gruppo di ricerca (Codina et al., 2011), ha replicato il risultato combinando il dato comportamentale con un'analisi della struttura del nervo ottico nelle persone sorde, utilizzando la tomografia a coerenza ottica (OTC). L'area del bordo neurale all'interno della testa del nervo ottico, un indicatore non invasivo del numero di cellule gangliari nella retina, è risultata maggiore nelle persone sorde rispetto

agli udenti. Inoltre, questa misura di riorganizzazione della retina si è rivelata correlata all'estensione del campo visivo. I sordi mostravano anche una riorganizzazione dello strato di fibre nervose retiniche, con una densità di fibre maggiore nella retina nasale inferiore, da cui dipende la visione della periferia superiore del campo visivo. Questi risultati dimostrano per la prima volta cambiamenti di plasticità cross-modale a livelli estremamente precoci dell'elaborazione dell'informazione visiva. Sarebbe interessante testare gli udenti VGA con la stessa tecnica di indagine per stabilire se anche il solo allenamento visivo intensivo, effettuato in età adulta, riesca a stabilire cambiamenti plastici a livelli tanto precoci.

Reagire agli stimoli dell'ambiente

La capacità di reagire agli stimoli dell'ambiente è stata principalmente studiata attraverso la misurazione della rapidità con la quale gli individui sono in grado di rilevare la comparsa di uno stimolo visivo presentato sopra-soglia (reattività). Gli studi a riguardo, utilizzando paradigmi di detezione semplice, hanno documentato una maggior velocità delle persone sorde rispetto agli udenti nel rilevare la comparsa di stimoli visivi statici, sia quando tali stimoli occupavano posizioni alla periferia del campo visivo (es. Loke e Song, 1991) sia quando si trovavano in posizioni centrali o peri-foveali (Reynolds, 1993; Bottari et al., 2010).

Per chiarire quali meccanismi sottendano a tale vantaggio, abbiamo recentemente presentato un compito di detezione semplice in risposta a stimoli tattili e non solo a stimoli visivi (stimoli statici in entrambe le modalità) ad un gruppo di sordi segnanti e di udenti non segnanti (Heimler e Pavani, 2011). Se il vantaggio nella reattività a stimoli visivi delle persone sorde si fosse esteso anche alla modalità tattile non si sarebbe potuto escludere un coinvolgimento di fattori post-percettivi in tale processo (es. motivazione o impulsività nel rilascio della risposta). Se invece tale vantaggio si fosse confermato specifico della modalità visiva, allora sarebbe stato una prova della natura percettiva del processo, caratterizzata presumibilmente dal coinvolgimento di stadi precoci dell'elaborazione visiva. I nostri risultati confermano questa seconda ipotesi dal momento che il gruppo dei sordi ha mostrato una maggiore reattività selettivamente per la modalità visiva e indipendentemente dalla localizzazione

spaziale degli stimoli (peri-foveale o periferica). Inoltre, il numero di falsi allarmi e di anticipazioni della risposta in entrambe le modalità sensoriali è risultato del tutto equiparabile tra sordi e udenti, escludendo quindi una spiegazione legata alla mera presenza di strategie anticipatorie o impulsive nelle risposte, o ad una generica differenza di motivazione (Heimler e Pavani, 2011).

Questo risultato rafforza un recente studio di elettroencefalografia (EEG; Bottari, Caclin, Giard e Pavani, 2011) che ha confrontato un gruppo di persone sorde segnanti che avevano perso la funzionalità acustica entro i due anni di vita (sordi precoci) con un gruppo di udenti non segnanti, in un compito di detezione semplice visiva. Differenze fra i due gruppi sono state riscontrate già a partire da componenti molto precoci dell'elaborazione visiva, ed in particolare la C1 (ovvero, la prima risposta individuabile della corteccia striata, che ha un picco attorno agli 80 ms dopo la comparsa dello stimolo visivo) e la P1 (un'altra componente molto precoce dell'elaborazione dell'informazione visiva che ha un picco ad una latenza compresa tra i 100 e i 130 ms dopo la comparsa di uno stimolo visivo). Inoltre, gli autori hanno osservato una correlazione, presente solo nel gruppo dei sordi, tra l'ampiezza della P1 ed il vantaggio nella reattività agli stimoli visivi, sia peri-foveali sia periferici: tanto minori erano i tempi di reazione, tanto maggiore risultava l'ampiezza della P1.

Non si sa ancora in che misura questa maggiore reattività agli stimoli visivi sia mediata dalla conoscenza di una lingua dei segni, dal momento che in questo tipo di compito non sono ancora mai stati testati udenti segnanti o sordi completamente non segnanti. E' interessante però riportare che nel nostro lavoro (Heimler e Pavani, 2011) un gruppo di udenti VGA, testati nella detezione di stimoli statici sia visivi sia tattili, è risultato veloce quanto i sordi (che non erano giocatori di video-giochi d'azione) per quanto riguarda la reattività a stimoli visivi, ma più veloce del gruppo dei sordi (e di quello degli udenti non VGA) nel rilevare stimoli tattili. Tale risultato mostra una prima dissociazione tra gli effetti del solo allenamento intensivo visivo senza deprivazione sensoriale e quelli di una deprivazione sensoriale e allenamento intensivo visivo conseguente. Mentre i risultati dei VGA dipendono presumibilmente dal coinvolgimento di processi di natura post-percettiva (processi decisionali, di esecuzione o di inibizione legati alla risposta), i risultati del gruppo dei sordi dipendono invece dal

coinvolgimento di processi precoci della sola elaborazione visiva.

Inoltre, resta da chiarire se vi sia una differenza tra stimoli statici e stimoli in movimento per quel che riguarda le abilità di reattività. Gli stimoli in movimento non sono mai stati testati direttamente in un compito di detezione semplice, ma alcune evidenze fanno presumere che si tratti di stimoli speciali per le persone sorde.

Utilizzando la risonanza magnetica funzionale (fMRI) gli stimoli visivi in movimento sono gli unici per i quali è stato documentato un reclutamento delle cortecce acustiche in seguito a sordità (Fine et al., 2005).

Localizzare e riconoscere gli stimoli dell'ambiente

Altre abilità molto importanti per orientarsi nell'ambiente in cui viviamo sono quelle di riconoscimento e localizzazione degli stimoli che ci circondano. In laboratorio, queste abilità vengono studiate chiedendo ai partecipanti di identificare alcune caratteristiche degli stimoli visivi come la loro forma o la loro posizione spaziale.

Per alcune abilità di discriminazione visiva non è stata riscontrata alcuna differenza fra la prestazione di adulti sordi, segnanti dalla nascita, e la prestazione di adulti udenti, né per quanto riguarda la velocità, né per quanto riguarda l'accuratezza delle risposte. Questa conclusione appare valida per varie caratteristiche visive, quali la sensibilità al contrasto (Finney e Dobkins, 2001) ed il riconoscimento di un cambiamento luminoso (Bavelier et al., 2000; 2001). Altri lavori, invece, al netto di un'accuratezza paragonabile tra i due gruppi sperimentali, hanno osservato una maggiore velocità di risposta delle persone sorde rispetto agli udenti in compiti di discriminazione di direzione di movimento (Neville e Lawson, 1987 a,b,c), di interferenza del distrattore (Proksch e Bavelier, 2002) e di giudizio di ordine temporale (Nava et al., 2008). In questi studi (ad eccezione di Nava et al., 2008) sono stati testati anche un gruppo di udenti figli di sordi, quindi segnanti dalla nascita, riscontrando in questa popolazione tempi di reazione del tutto comparabili a quelli ottenuti dagli udenti non segnanti. Questi risultati legano dunque la velocità di discriminazione specificatamente alla sordità. E' interessante riportare che il risultato di Neville e Lawson (1987 a,b,c) corrobora anche l'ipotesi di uno status speciale degli stimoli in

movimento nella riorganizzazione in seguito a deprivazione acustica.

Altri lavori sulle capacità discriminative (Bosworth e Dobkins, 2002; Bottari et al., 2010), svolti con sordi segnanti dalla nascita, hanno riportato un vantaggio nella velocità di risposta a fronte di uno svantaggio nell'accuratezza (speed-accuracy trade off). Questi risultati potrebbero indicare una maggiore impulsività di risposta nelle persone sorde di fronte ad alcuni compiti discriminativi specifici, espressa presumibilmente da un criterio di risposta più lasco.

Un lavoro di Dye e colleghi (2009) ha recentemente riscontrato prestazioni migliori nei sordi rispetto agli udenti, indipendentemente dall'uso o meno di una lingua dei segni. Gli autori hanno paragonato un gruppo di sordi segnanti dalla nascita, uno di sordi non segnanti (cresciuti utilizzando solo il canale comunicativo orale), e due gruppi di udenti (segnanti dalla nascita o non segnanti). Ai partecipanti veniva richiesto di identificare uno stimolo visivo centrale (una faccia stilizzata con i capelli corti o con i capelli lunghi) e contemporaneamente localizzare la posizione di uno stimolo periferico inserito tra distrattori, che poteva apparire in una di otto posizioni possibili. È interessante notare che il gruppo dei sordi non segnanti aveva una prestazione tendenzialmente peggiore rispetto al gruppo dei sordi segnanti (per quanto la differenza non sia risultata significativa), nonché una prestazione significativamente peggiore rispetto a tutti gli altri gruppi nei compiti di pratica, dove ai partecipanti veniva richiesto di svolgere un solo compito per volta (identificare lo stimolo centrale o localizzare lo stimolo periferico). Questi risultati suggeriscono che l'acquisizione fin dalla nascita di una lingua dei segni possa avere, in certi casi, un effetto maggiore della deprivazione sensoriale di per sé nel migliorare alcune abilità di discriminazione visiva (si veda anche McKee, 1987; Emmorey et al., 1993).

Infine, dati recenti suggeriscono che alcune abilità discriminative possano risultare deficitarie negli adulti sordi. Bolognini e colleghi (2012) hanno paragonato un gruppo di sordi (con storia linguistica disomogenea rispetto alle forme di comunicazione utilizzate) con uno di udenti non segnanti in due compiti di discriminazione, entrambi svolti su stimoli tattili: uno di natura spaziale (discriminare una vibrazione percepita sul dito indice da una percepita sul dito medio della mano destra) e uno di natura temporale (discriminare tra una vibrazione corta e una vibrazione

lunga, entrambe rilasciate sull'indice della mano destra). Mentre le prestazioni al compito tattile spaziale sono risultate equiparabili tra sordi e udenti, nel compito di discriminazione di durata il gruppo dei sordi ha avuto prestazioni peggiori. Gli autori hanno anche registrato le prestazioni dei partecipanti in questi due compiti di discriminazione a seguito di stimolazione magnetica transcranica (TMS) dimostrando un precoce coinvolgimento del giro temporale superiore, nel gruppo dei sordi, per entrambi i compiti. Gli autori suggeriscono che tale risultato potrebbe riflettere il coinvolgimento delle cortecce temporali delle persone sorde in compiti spaziali. Nonostante questo dato riguardi una modalità ancora poco studiata nelle persone sorde (il tatto), nonché un tipo di abilità (la percezione temporale) anch'essa poco indagata in seguito a sordità, esso è tuttavia in linea con un dato precedente riportato da Kowalska e Szelag (2006). Questi autori hanno infatti mostrato una prestazione peggiore in un gruppo di adolescenti sordi che conosceva la lingua dei segni ma che tendeva a comunicare con la lingua verbale, rispetto ad un gruppo di udenti (età media 17.5 anni), in un compito di giudizio di durata, in questo caso però con stimoli presentati nella modalità visiva. Entrambi questi ultimi risultati (Kowalska e Szelag, 2006; Bolognini et al., 2012), potrebbero dunque indicare una specifica difficoltà delle persone sorde nell'elaborare la durata degli stimoli, indipendentemente dalla modalità sensoriale nella quale essi vengono presentati. E' rilevante sottolineare che la percezione della durata è una capacità tipicamente deputata al sistema uditivo, come del resto tutte le abilità di natura temporale (es., la percezione del ritmo). Questi risultati, dunque, sollevano nuovamente il quesito teorico circa la possibilità che abilità tipicamente ascritte alla modalità acustica possano risultare deficitarie in seguito a sordità (Heming e Brown, 2005; ma si veda anche Poizner e Tallal, 1987; Nava et al, 2008). Va però sottolineato che entrambi i gruppi di sordi testati sia da Bolognini e colleghi (2012) sia da Kowalska e Szelag (2006) avevano storie linguistiche disomogenee rispetto al livello di conoscenza della lingua dei segni. Sarebbe interessante testare un gruppo di sordi segnanti dalla nascita per vedere se il deficit temporale persiste anche a seguito di uno sviluppo linguistico nella norma.

Nell'insieme, tutti questi lavori tracciano un quadro molto variegato e ancora incompleto delle caratteristiche delle abilità discriminative in seguito a sordità. A nostro

avviso, nuove ricerche dovrebbero concentrarsi in maniera più sistematica sul ruolo della lingua dei segni e dell'allenamento visivo, sulle abilità di discriminazione tattile e sulle abilità di discriminazione temporale anche di natura visiva. Questi nuovi lavori, infatti permetterebbero di chiarire meglio in che misura le prestazioni discriminative degli adulti sordi possano variare in base all'esperienza visiva, alla modalità sensoriale indagata e al tipo di abilità testata.

Controllare e orientare l'attenzione nello spazio

La comprensione di come gli adulti sordi interagiscono con l'ambiente, infine, non può prescindere dallo studio sistematico del modo in cui essi esplorano lo spazio e prestano attenzione ai vari stimoli che li circondano.

L'ipotesi più largamente condivisa all'interno della letteratura è che vi siano delle differenze nella distribuzione delle risorse attentive tra sordi e udenti. I sordi disporrebbero di maggiori risorse attentive alla periferia del campo visivo, mentre gli udenti disporrebbero di maggiori risorse rivolte al centro (Proksch e Bavelier, 2002). Questa ipotesi è scaturita da risultati sia di EEG (Neville e Lawson, 1987a,b) sia di fMRI (Bavelier et al., 2000; 2001) che avevano mostrato differenze nelle risposte cerebrali di sordi e udenti, specificatamente in paradigmi che richiedevano di focalizzare l'attenzione alla periferia del campo visivo (orientamento endogeno dell'attenzione selettiva). Tuttavia, il dato empirico più rilevante in merito a questa ipotesi è contenuto nello studio di Proksch e Bavelier (2002). Sordi ed udenti sono stati confrontati in un compito in cui era necessario riconoscere una forma visiva bersaglio, in presenza di una forma visiva che fungeva da distrattore, posta verso il centro o verso la periferia della scena. La logica sottostante questo paradigma è che maggiore è l'effetto del distrattore, maggiori sono le risorse attenzionali ad esso dedicate. Per gli udenti, la maggiore interferenza fra bersaglio e distrattore si riscontrava quando quest'ultimo era posto al centro della scena; per i sordi, l'interferenza maggiore si riscontrava invece quando il distrattore era posto alla periferia. Gli autori hanno testato anche un gruppo di udenti segnanti dalla nascita, i quali però mostravano prestazioni comparabili a quelle degli udenti non segnanti. Quest'ultimo risultato è stato interpretato come prova della specificità di questo vantaggio attentivo per la periferia

del campo visivo legato alla sordità (Proksch e Bavelier, 2002). Tuttavia, Green e Bavelier (2003) hanno presentato lo stesso compito anche ad un gruppo di udenti VGA ed hanno riportato prestazioni paragonabili a quelle dei sordi in questa popolazione. Ciò permette di ipotizzare che questa differenza nella distribuzione delle risorse attentive possa non dipendere esclusivamente dalla deprivazione sensoriale di per sé, ma possa anche scaturire da un intenso allenamento visivo. Inoltre, il fatto che l'effetto sia stato riscontrato negli udenti VGA ma non negli udenti segnanti, suggerisce che per questa abilità sia più rilevante un allenamento di natura percettiva, piuttosto che uno di natura linguistica. Questi dati evidenziano quindi per la prima volta una possibile dissociazione tra gli effetti di queste due forme di intenso allenamento visivo nei cambiamenti di plasticità cross-modale.

Due lavori EEG suggeriscono che differenze fra sordi ed udenti possano riscontrarsi anche rispetto alla componente automatica di cattura dell'attenzione (orientamento esogeno dell'attenzione selettiva). Questi studi hanno documentato modificazioni cerebrali nelle persone sorde segnanti, rispetto alle persone udenti non segnanti, quando l'attenzione visiva era catturata dall'insorgenza improvvisa di uno stimolo periferico o centrale, che poteva essere il bersaglio del compito sperimentale (Bottari et al., 2011) o essere uno stimolo irrilevante per il compito (Armstrong et al., 2002). In linea con l'ipotesi che anche la componente esogena dell'attenzione selettiva possa essere modificata a seguito di sordità, alcuni lavori hanno riportato una maggiore velocità degli adulti sordi (segnanti dalla nascita) nel ridirezionare l'attenzione verso stimoli che apparivano improvvisamente nella scena visiva. In questi paradigmi ai partecipanti veniva richiesto di guardare sempre il punto di fissazione centrale e di rilevare il più velocemente possibile la comparsa di uno stimolo periferico, che veniva preceduto dalla presentazione di un segnale (cue) che direzionava l'attenzione verso una posizione dello spazio. Questo segnale poteva essere valido (il bersaglio appariva in quella posizione) o invalido (il bersaglio appariva in un'altra posizione). L'idea sottostante è che la presentazione di un cue fa sì che l'attenzione venga allocata nella posizione dello spazio suggerita. Se il cue è invalido, le persone pagano un costo nel ridirezionare l'attenzione nella posizione esatta, e sono quindi più lente nel rilevare il bersaglio (es. Posner, Snyder e Davidson, 1980). Le persone sorde però si sono rivelate

più veloci degli udenti nel rilevare gli stimoli bersaglio nelle prove in cui veniva fornito loro un cue invalido, ad indicare presumibilmente una più rapida cattura automatica dell'attenzione alla comparsa di uno stimolo visivo (Colmenero et al., 2004; Chen et al., 2006 con stimoli periferici; Parasnis & Samar, 1985 per dei risultati nella stessa direzione con stimoli peri-foveali).

Un recente lavoro (Bottari, Valsecchi e Pavani, 2011) ha affrontato direttamente il rapporto fra aspetti volontari ed automatici del controllo dell'attenzione, studiando il movimento dello sguardo (attenzione esplicita). Gli autori hanno utilizzato un compito di saccadi e anti-saccadi (Everling e Fischer, 1998; Hallett, 1978) per misurare il movimento oculare rapido (saccade) dei partecipanti sordi segnanti e degli udenti non segnanti, in risposta alla comparsa di uno stimolo visivo. Due diversi movimenti oculari potevano essere richiesti all'inizio di ciascuna prova dell'esperimento: una saccade diretta allo stimolo bersaglio (pro-saccade); oppure, una saccade verso il lato dello schermo opposto a quello in cui è comparso lo stimolo bersaglio (anti-saccade). Gli autori hanno osservato che il gruppo dei sordi commetteva significativamente più errori del gruppo degli udenti nelle prove anti-saccade. Inoltre, quando le prove di pro-saccade si ripetevano in prove successive (condizione di minore controllo cognitivo) i sordi si sono anche rivelati più rapidi degli udenti nel cominciare la saccade. Questi risultati suggeriscono che, nelle persone sorde, il sistema automatico di controllo oculare prevalga su quello volontario per stimoli visivi. Ciò potrebbe fornire una spiegazione anche ai dati riportati sopra sulla più rapida cattura automatica dell'attenzione per stimoli visivi (es. Parasnis & Samar, 1985; Armstrong et al., 2002; Colmenero et al., 2004; Chen et al., 2006; Bottari et al., 2011).

Infine, come per le altre abilità già trattate, anche alcune abilità attentive sono risultate invariate tra sordi e udenti. Dye e Bavelier (2010) hanno testato l'abilità di mantenere l'attenzione nel tempo (attenzione sostenuta) per stimoli al centro del campo visivo e non hanno riscontrato differenze tra le due popolazioni.

Da questa breve rassegna emerge chiaramente che per comprendere a pieno i cambiamenti nelle abilità di controllo ed orientamento dell'attenzione nello spazio che avvengono in seguito a sordità, è necessario cercare di definire in maniera più sistematica il ruolo delle diverse componenti attentive coinvolte (esogena vs. endogena;

selettiva vs. sostenuta). Inoltre, la grande maggioranza dei lavori presenti in letteratura ha utilizzato popolazioni di sordi segnanti (ma si veda Procksh e Bavelier, 2002). Mancano quindi dati più sistematici rispetto al ruolo delle lingue dei segni e dell'allenamento visivo nella riorganizzazione di tali abilità.

BAMBINI SORDI

Come già accennato nell'introduzione, gli studi che trattano le abilità visive dei bambini sordi sono ancora molto pochi, nonostante il forte impatto teorico ed applicativo che queste ricerche apporterebbero alla letteratura. Per fornire un primo confronto e promuovere una prima integrazione con i lavori svolti sugli adulti, passeremo ora in rassegna i risultati sui bambini sordi per le stesse abilità che abbiamo trattato sugli adulti, partendo tuttavia dagli studi sull'attenzione, al momento attuale l'ambito più studiato in questa popolazione.

La maggior parte dei lavori sulle abilità attentive dei bambini sordi si è occupata delle abilità di attenzione sostenuta. Questi studi sono stati ispirati da lavori precedenti che riportavano un maggior rischio di impulsività e distraibilità nei bambini sordi (Meadow, 1980; Quittner et al., 1990). In particolare, la maggior parte di questi lavori ha utilizzato un paradigma sperimentale noto come Continuous visual Performance Task (CPT) la cui prestazione si era rivelata predittiva dei livelli clinici dei disturbi attentivi (Barkley, 1988; Gordon, 1986; 1987). Ai bambini veniva richiesto di guardare una sequenza continua di numeri che appariva al centro di uno schermo e di premere un pulsante ogni volta che vedevano il numero '1' seguito da un '9'. La maggior parte dei risultati ottenuti con il CPT (es. Quittner et al., 1994; 2007; Smith et al., 1998) ha riportato prestazioni peggiori dei bambini sordi non segnanti rispetto agli udenti (range di età nei diversi lavori 3-13 anni) anche se vi era una tendenza al miglioramento durante lo sviluppo (Smith et al., 1998). Soprattutto, è emersa una correlazione tra la prestazione al CPT e i problemi comportamentali dei bambini sordi (6-14 anni) riportati sia dagli insegnanti sia dai genitori (Mitchell & Quittner, 1996). Dye e Bavelier (2010), utilizzando due differenti compiti sperimentali di attenzione sostenuta e con stimoli visivi centrali (*Rapid Serial Visual Presentation* -RSVP; e *Attentional Blink* -AB), hanno riportato prestazioni peggiori del gruppo dei sordi, questa volta segnanti dalla

nascita, rispetto agli udenti (7-10 anni). Si noti che tale svantaggio scompariva in età adulta, visto che gli adulti sordi testati nello stesso paradigma mostravano prestazioni paragonabili agli udenti (si veda sezione precedente sugli adulti). Tuttavia, Tharpe e colleghi (2002), testando un gruppo di sordi non segnanti e uno di udenti (8-14 anni) in un compito di CPT e controllando però il QI non verbale dei partecipanti, non hanno osservato né differenze di prestazione tra i due gruppi sperimentali né correlazioni con le dichiarazioni sulla distraibilità dei figli fornite dai genitori.

In sintesi, gli studi disponibili sull'attenzione sostenuta durante lo sviluppo dei bambini sordi, suggeriscono una difficoltà in questo ambito che si manifesta in maniera indipendente dall'acquisizione o meno di una lingua dei segni dalla nascita. Tuttavia, rimane necessario controllare meglio il ruolo di altri fattori quali, ad esempio, il QI non verbale dei bambini sordi. Appare infatti evidente da questa breve rassegna che, la mancanza di informazioni relative a questa variabile, potrebbe condizionare alcuni dei risultati riportati su questa popolazione (es., Dye & Bavelier, 2010; Quittner et al., 1994; 2007; Smith et al., 1998).

Allo stato attuale, mancano ancora lavori che trattino il decorso evolutivo delle abilità di attenzione selettiva per le quali è stata già documentata una riorganizzazione negli adulti sordi (es. controllo e orientamento dell'attenzione selettiva implicita e dei movimenti oculari; Colmenero et al., 2004; Bottari et al., 2011). Inoltre, tutti i lavori citati utilizzano stimoli centrali, nonostante sia stata dimostrata negli adulti sordi una riorganizzazione per la periferia del campo visivo (es. Proksch & Bavelier, 2002).

Sono anche molto scarsi gli studi che hanno affrontato gli altri ambiti di indagine trattati negli adulti sordi. In generale, anche per i bambini sordi le soglie percettive visive sono risultate comparabili a quelle degli udenti per alcune caratteristiche visive come la discriminabilità per colori e forme (Suchman, 1966; età: 7-12 anni; bambini sordi non segnanti) ma mancano invece nella letteratura dati riguardanti le soglie percettive per caratteristiche tattili. Vi sono poi due studi di localizzazione di stimoli periferici (Netelenbos & Savelsbergh, 2003; Codina et al., 2010) che hanno mostrato una peggiore prestazione del gruppo dei sordi rispetto agli udenti espressa solo in termini di minor velocità di risposta e non in termini di accuratezza, in bambini sordi che avevano storie linguistiche non omogenee tra loro. I

partecipanti di questi studi erano di età compresa tra i 5-7 e 10-12 anni (Netelenbos & Savelsbergh 2003) oppure di età compresa tra i 5-15 anni (Codina et al., 2010). E' particolarmente interessante notare il possibile decorso evolutivo che emerge dal lavoro di Codina e colleghi (2010), nel quale lo svantaggio nei tempi di risposta del gruppo dei sordi rispetto alla loro controparte udente si manteneva fino all'età di 11-12 anni, quando sordi e udenti cominciavano a mostrare prestazioni equiparabili. Tali prestazioni si trasformavano poi in un vantaggio a partire dai 13 anni dei partecipanti sordi rispetto agli udenti, per quello che riguarda la velocità di localizzazione delle posizioni più periferiche testate (dai 60 agli 85°). Occorre sottolineare che, anche il lavoro di Neville e Lawson (1987 a,b) descritto già in precedenza nella sezione sugli adulti, aveva riportato una maggiore velocità del gruppo di adulti sordi segnanti dalla nascita rispetto a due gruppi di adulti udenti (segnanti e non segnanti), nel discriminare la direzione di movimento degli stimoli bersaglio periferici. In questo lavoro però gli stimoli erano appunto in movimento (a differenza di quelli utilizzati da Netelenbos e Savelsbergh, 2003 e Codina et al., 2010 che erano invece statici) ed apparivano ad un' eccentricità di 18° dal punto di fissazione, quindi di molto inferiore rispetto a quella per la quale è stato riscontrato il vantaggio nel gruppo dei bambini sordi (per stimoli con >60° di eccentricità, a partire dai 13 anni) nel lavoro di Codina e colleghi (2010). Questa differenza tra i risultati degli adulti e quelli dei bambini sordi potrebbe dipendere dalla maggiore esperienza con gli stimoli visivi periferici, che plausibilmente caratterizza gli adulti sordi, oppure anche da uno status diverso degli stimoli statici e degli stimoli in movimento nella riorganizzazione a seguito di sordità. Per chiarire questo punto, bisognerebbe studiare le proprietà di localizzazione e discriminazione di stimoli in movimento anche nei bambini sordi.

Un altro lavoro importante è stato condotto di recente da Dye et al. (2009). Gli autori hanno testato un gruppo di bambini sordi (tutti segnanti dalla nascita) e uno di udenti (7-17 anni; suddivisi in tre gruppi: 7-10; 11-13; 14-17) in un compito di localizzazione di stimoli visivi statici – già descritto nel paragrafo sugli adulti – più complesso rispetto ai compiti utilizzati da Netelenbos e Savelsbergh (2003) e da Codina e colleghi (2010). I risultati mostrano prestazioni equiparabili tra bambini sordi e udenti fino ai 10 anni e migliori per il gruppo dei sordi a partire dagli 11-12 anni. E' però

interessante riportare che nei compiti di pratica, ovvero quando ai partecipanti veniva chiesto di svolgere separatamente i due compiti da cui era formato il compito sperimentale vero e proprio (identificazione centrale e localizzazione periferica) i bambini sordi testati da Dye e colleghi mostravano, un decorso evolutivo delle prestazioni molto simile a quello riportato da Codina e colleghi (2010). Fino a 10 anni, infatti, le loro prestazioni sono risultate peggiori di quelle degli udenti, mentre a partire dagli 11 anni le prestazioni dei due gruppi si eguagliavano. Le prestazioni del gruppo dei bambini sordi, però, non superavano mai quelle del gruppo degli udenti presumibilmente per il raggiungimento dell'effetto tetto dovuto alla semplicità del compito sperimentale per entrambi i gruppi. Da questi risultati si può quindi ipotizzare che l'apprendimento di una lingua dei segni come lingua madre faciliti, fin dall'infanzia, lo sviluppo di abilità visive più complesse.

Infine, è interessante riportare un lavoro che ha testato le abilità di discriminazione di piccole numerosità sia visive sia tattili in un gruppo di bambini sordi e in uno di udenti (3-6 anni; Blank & Bridger, 1966). Questo studio documenta una maggior facilità dei bambini sordi nel manipolare l'informazione tattile rispetto alla loro controparte udente. Gli autori di questo lavoro erano interessati alle abilità di soluzione di facili problemi e alle abilità di trasferimento di criterio tra modalità sensoriali (vista-tatto). I risultati hanno mostrato che mentre i bambini sordi erano ugualmente veloci ad apprendere il compito di discriminazione visiva e il compito di discriminazione tattile (e trasferire il criterio), i bambini udenti facevano molta più fatica a trasferire il compito nella modalità tattile, indipendentemente dall'ordine in cui i due compiti venivano loro presentati (prima visivo poi tattile o viceversa). Da questo studio sembrerebbe quindi che almeno durante la prima infanzia, i bambini sordi possano essere avvantaggiati nella modalità tattile rispetto alla loro controparte udente. In futuro, sarebbe quindi interessante indagare specificatamente le proprietà della modalità tattile durante lo sviluppo ed in particolare le proprietà di reattività e localizzazione di stimoli tattili nei bambini sordi e udenti, confrontandoli poi con i dati già presenti per le stesse abilità nella modalità visiva (Netelenbos e Savelsbergh 2003; Codina et al., 2010).

CONCLUSIONI

L'obiettivo principale di questa rassegna era presentare un quadro critico delle conoscenze sull'adulto sordo relativamente ai processi visivi di natura percettiva ed attentiva, integrandolo e confrontandolo per la prima volta con le conoscenze ad oggi disponibili sul decorso evolutivo delle medesime abilità durante lo sviluppo. Il secondo obiettivo, era discriminare quanto più possibile fra le differenze ascrivibili principalmente alla deprivazione sensoriale (e conseguente intenso allenamento visivo) e quelle ascrivibili anche al solo intenso allenamento visivo senza deprivazione (udenti segnanti; udenti giocatori di video giochi d'azione).

Complessivamente il quadro dell'adulto sordo mostra vantaggi selettivi in alcune abilità visive. Innanzitutto è stato riportato un vantaggio specifico nei sordi rispetto agli udenti nelle capacità di reagire a stimoli visivi, indipendentemente dalla loro posizione spaziale (es. Bottari et al., 2011). Tale selettività per la modalità visiva è risultata specifica della sordità e non riconducibile unicamente ad un intenso allenamento visivo (confronto con udenti giocatori di video-giochi d'azione; Heimler e Pavani, 2011). Gli adulti sordi, inoltre, sono risultati avvantaggiati in alcune forme di discriminazione visiva complessa e tale vantaggio sembra essere ancora maggiore nel caso di acquisizione di una lingua dei segni dalla nascita (Dye et al., 2009). Infine gli adulti sordi differiscono dagli udenti anche nel modo di esplorare lo spazio, principalmente per due aspetti. Anzitutto, mostrano una diversa distribuzione delle risorse attentive, con maggiori risorse destinate alla periferia del campo visivo (Proksch e Bavelier, 2002). Tale differenza potrebbe tuttavia dipendere dall'intenso allenamento visivo di natura percettiva, piuttosto che dalla sola deprivazione sensoriale (Green e Bavelier, 2003). In secondo luogo, mostrano una maggiore velocità nell'orientare l'attenzione visiva (es. Colmenero et al., 2004), che potrebbe riflettere una prevalenza del sistema automatico di cattura dell'attenzione e dello sguardo in questa popolazione (Bottari et al., 2011). Quest'ultima caratteristica è stata finora studiata solo nei sordi segnanti. Ad oggi, tuttavia, non è ancora chiaro il decorso evolutivo di queste abilità, anche se alcune prime ricerche sui bambini sordi suggeriscono che i cambiamenti principali avvengano nei primi 10 anni di vita (es. Dye et al., 2009; Codina et al., 2010).

Approfondire lo studio delle modalità di interazione con l'ambiente durante lo

sviluppo dei bambini sordi, oltre ad arricchire il quadro di conoscenze teoriche sui cambiamenti di plasticità cross-modale in seguito a sordità, offrirebbe la possibilità di integrare queste conoscenze con gli studi sulle abilità linguistiche già presenti in letteratura (es. Caselli et al., 2006). Ciò consentirebbe importanti risvolti applicativi, utili soprattutto per sviluppare percorsi educativi, sia scolastici sia riabilitativi, con lo scopo specifico di ottimizzare le capacità di apprendimento dei bambini sordi. Inoltre, nel lungo periodo, queste ricerche potrebbero essere estremamente utili nel fornire importanti suggerimenti applicativi per gli operatori che si occupano di sordità, e non ultimo per le persone sorde stesse ed i loro familiari.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato sostenuto dal finanziamento PRIN 2008 a F.P. e grazie al supporto della Provincia Autonoma di Trento e della Fondazione Cassa di Risparmio di Trento e Rovereto. Ringraziamo due revisori anonimi per utili suggerimenti su una versione precedente del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

Achtman, R.L., Green, C.S., & Bavelier, D. (2008). Video-games as a tool to train visual skills. *Restorative Neurology & Neuroscience*, 26, (4-5), 435-446.

Armstrong, B.A., Neville, H.J., Hillyard, S.A., & Mitchell, T.V. (2002). Auditory deprivation affects processing of motion, but not color. *Cognitive Brain Research*, 14, 422-434.

Barkley, R.A. (1988). Attention deficit disorder with hyperactivity. In E J Mask & L G Lerdal (Eds) Behavioral assessment of childhood disorders (2nd ed pp 69-104) New York Guilford Press.

Bavelier, D., Tomman, A., Hutton, C., Mitchell, T., Corina, D.P., Liu, G., & Neville, H.J. (2000). Visual attention to the periphery is enhanced in congenitally deaf individuals. *Journal of Neuroscience*, 20, 1-6.

Bavelier, D., Brozinsky, C., Tomman, A., Mitchell, T., Neville, H. J., & Liu, G. (2001). Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing. *Journal of Neuroscience*, 21, 8931–8942.

Bavelier, D., Dye, M.W.G., & Hauser, P.C. (2006). Do deaf individuals see better? *Trends in Cognitive Sciences*, 10(11), 512-518.

Bavelier, D., Newport, E.L., Supalla, T., & Boutla, M. (2008). Ordered short-term memory. Implications for model of short-term memory. *Cognition*, 107(2), 433-459.

Blank, M., & Bridger, W. H. (1966). Conceptual cross-modal transfer in deaf and hearing children. *Child Development*, 37, 29-38.

Bolognini, N., Cecchetto, C., Geraci, C., Maravita, A., Pascual-Leone, A., & Papagno, C. (2012). Hearing shapes our perception of time: temporal discrimination of tactile stimuli in deaf people. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(2), 276-286.

Bosworth, R. G., & Dobkins, K. R. (2002). The effect of spatial attention on motion processing in deaf signers, hearing signers, and hearing non-signers. *Brain and Cognition*, 4, 152-169.

Bottari, D., Caclin, A., Giard, M.H., & Pavani, F. (2011). Changes in early

cortical visual processing predict enhanced reactivity in deaf individuals. *PLoS ONE*, 6, e25607.

Bottari, D., Nava, E., Ley, P., & Pavani, F. (2010). Enhanced reactivity to visual stimuli in deaf individuals. *Restorative Neurology & Neuroscience*, 28(2), 167-179.

Bross, M. (1979). Residual sensory capacities of the deaf: A signal detection analysis of a visual discrimination task. *Perceptual and Motor Skills*, 48(1), 187-194.

Brozinsky, C.J., & Bavelier, D. (2004). Motion velocity thresholds in deaf signers: Changes in lateralization but not in overall sensitivity. *Brain Research Cognitive Brain Research*, 21, 1–10.

Buckley, D., Codina, C., Bhardwaj, P., & Pascalis, O. (2010). Action video game players and deaf observers have larger Goldmann visual fields. *Vision Research*, 50(5), 548-556.

Cadoni, G., & Quaranta, N. (2011). Epidemiologia delle sordità preverbalì. *Acta Phoniatria Latina*, XXXIII, 1-2, 20-28.

Caselli, M.C., Maragna, S., & Volterra, V. (2006). Linguaggio e sordità. Gestì, segni e parole nello sviluppo e nell'educazione. Bologna: Il Mulino.

Codina, C., Buckley, D., Port, M., & Pascalis, O. (2010). Deaf and hearing children: A comparison of peripheral vision development. *Developmental Science*, 14(4), 725-737.

Codina, C., Pascalis, O., Mody, C., Toomey, P., Rose, J., Gummer, L., & Buckley, D. (2011). Visual advantage in deaf adults linked to retinal changes. *PloS ONE*, 6(6), e20417.

Colmenero, J.M., Catena, A., Fuentes, L.J., & Ramos, M.M. (2004). Mechanisms of visuospatial orienting in deafness. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(6), 791-805.

Chen, Q. Zhang, M., & Zhou, X (2006). Effects of spatial distribution during inhibition o return IOR on flanker interference in hearing and congenitally deaf people. *Brain Research*, 1109, 117-127.

Dye, M.W.G., & Bavelier, D. (2010). Attentional enhancements and

deficits in deaf populations: An integrative review. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28, 181-192.

Dye, M.W.G., Hauser, P.C., & Bavelier, D. (2009). Is visual attention in deaf individuals enhanced or deficient? The case of the useful field of view. *PLoS ONE*, 4(5), e5640. doi:10.1371/journal.pone.0005640.

Emmorey, K., Kosslyn, S.M., & Bellugi, U. (1993). Visual imagery and visual-spatial language: Enhanced imagery abilities in deaf and hearing ASL signers. *Cognition*, 46(2), 139-181.

Everling, S., & Fischer, B. (1998). The antisaccade: A review of basic research and clinical studies. *Neuropsychologia*, 36, 885-899.

Fine, I., Finney, E.M., Boynton, G.M., & Dobkins, K.R. (2005). Comparing the effects of auditory deprivation and sign language within the auditory and visual cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(10), 1621-1637.

Finney, E.M., Fine, I., & Dobkins, K.R. (2001). Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nature Neuroscience*, 4(12), 1171-1173.

Geraci, C., Gozzi, M., Papagno, C., & Cecchetto, C. (2008). How grammar can cope with limited short-term memory: Simultaneity and seriality in sign languages. *Cognition*, 106, 780-804.

Gordon, M. (1986). Microprocessor-based assessment of attention deficit disorders. *Psychopharmacology Bulletin*, 22, 288-290.

Gordon, M. (1987). Instruction manual for the Gordon Diagnostic System. DeWitt, NY Gordon Systems.

Gozzi, M., Geraci, C., Cecchetto, C., Perugini, M., & Papagno, C. (2011). Looking for an explanation for the low sign span. Is order involved?. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 16(1), 101-107.

Green, C.S., & Bavelier, D. (2003). Action video-game modifies visual selective attention. *Nature*, 423, 534-537.

Hallett, P.E. (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision Research*, 18, 1279-1296.

Hauser, P.C., Dye, M.W., Boutla, M., Green, C.S., & Bavelier, D. (2007).

Deafness and visual enumeration: not all aspects of attention are modified by deafness. *Brain Research*, 1153, 178- 187.

Heider, F., & Heider, G. (1940). Studies in the psychology of the deaf. *Psychological Monographs*, 52, 6- 22.

Heimler, B., & Pavani, F. (2011). La deprivazione acustica modifica la velocità di risposta diversamente da un apprendimento visivo intensivo: confronto fra sordità ed esperienza di video- giochi d'azione. Associazione Italiana di Psicologia, Sezione di Psicologia Sperimentale. Catania, 14-16 September, 2011.

Heming, J.E., & Brown, L.N. (2005). Sensory temporal processing in adults with early hearing loss. *Brain and Cognition*, 59, 173-182.

Horn, D. L., Davis, R. A. O., Pisoni, D B., & Miyamoto, R T. (2005). Development of visual attention skills in prelingually deaf children who use cochlear implants. *Ear & Hearing*, 26(4), 389, 408.

Levänen, S., & Hamdorf, D. (2001). Feeling vibrations: enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans. *Neuroscience Letters*, 301, 75–77.

Loke, W.H., & Song, S. (1991). Central and peripheral visual processing in hearing and nonhearing individuals. *Bullettin of Psychonomic Society*, 29(5), 437-440.

Marschark, M. (2006). Intellectual functioning of deaf adults and children: Answers and questions. *European Journal of Cognitive Psychology*, 18(1), 70-89.

McKee, D., (1987). An analysis of specialized cognitive functions in deaf and hearing signers. Unpublished doctoral dissertation. University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA.

Meadow, K.B. (1980). Deafness and child development. University of California Press, Berkley.

Mitchell, T.V., & Quittner, A.L. (1996). A multimodal study of attention and behavior problems in hearing- impaired children. *Journal of Clinical Child Psychology*, 25, 83-96.

Nava, E., Bottari, D., Zampini, M., & Pavani, F. (2008). Visual temporal order judgment in profoundly deaf individuals. *Experimental Brain Research*,

doi:10.1007/s00221-008-1459-9.

Netelenbos, J.B., & Savelsbergh, G.J.P. (2003). Children's search for targets located within and beyond the field of view: Effects of deafness and age. *Perception*, 32, 485-497.

Neville, H. J., & Lawson, S.D. (1987 a). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: an event-related potential and behavioural study. I. Normal hearing adults. *Brain Research*, 405, 253-267.

Neville, H.J., & Lawson, S.D. (1987 b). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task: an event-related potential and behavioural study. II. Congenitally deaf adults. *Brain Research*, 405, 268-283.

Neville, H.J., & Lawson, S.D. (1987c). Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task. III. Separate effects of auditory deprivation and acquisition of a visual language. *Brain Research*, 405, 284- 294.

Parasnis, I., & Samar, V.J. (1985). Perifoveal attention in congenitally deaf and hearing young adults. *Brain Cognition*, 4(3), 313-327.

Parasnis, I., Samar, V.J., & Berent, G.P. (2003). Deaf adults without Attention Deficit Hyperactivity Disorder display reduced perceptual sensitivity and elevated impulsivity on the Test of Variables of Attention (T.O.V.A.). *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 46, 1166-1183.

Pavani, F., & Bottari, D. (2011). Visual abilities in individuals with profound deafness: a critical review. In: M. M. Murray & M. Wallace (a cura di), *Frontiers in the Neural Bases of Multisensory Processes*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

Pavani, F., & Röder, B. (in press). Crossmodal plasticity as a consequence of sensory loss: Insights from blindness and deafness. In B.E. Stein (Ed). *The new handbook of multisensory processes*, Boston, MA: MIT Press.

Poizner, H., & Tallal, P. (1987). Temporal processing in deaf signers. *Brain and Language*, 30(1), 52-62.

Posner, M.I., Snyder, C.R., & Davidson, B.J. (1980). Attention and the

detection of signals. *Journal of Experimental Psychology*, 109(2), 160-174.

Proksch, J., & Bavelier, D. (2002). Changes in the spatial distribution of visual attention after early deafness. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 687-701.

Quittner, A.L., Glueckauf, R.L., & Jackson, D.N. (1990). Chronic parenting stress: moderating versus mediating effect of social support. *Journal of Personality and Social Psychology*, 90, 1266-1278.

Quittner, A.L., Smith, L., Osberger, M.J., Mitchell, T.V., & Katz, D.B. (1994). The impact of audition in the development of visual attention. *Psychological Science*, 5(6), 347-353.

Quittner, A.L., Barker, D.H., Snell, C., Cruz, I., McDonald, L., Grimley, M.E., Botteri, M., & Marciel, K., CDACI Investigative Team (2007). Improvements in visual attention in deaf infants and toddlers after cochlear implantation. *Audiological Medicine*, 5, 242-249.

Reynolds, H.N. (1993). Effects of foveal stimulation on peripheral visual processing and laterality in deaf and hearing subjects. *The American Journal of Psychology*, 106, 523-540.

Smith, L., Quittner, A.L., Osberger, M.J., & Miyamoto, R. (1998). Audition and visual attention: The developmental trajectory in deaf and hearing populations. *Developmental Psychology*, 34, 840-850.

Stevens, C., & Neville, H.J. (2006). Neuroplasticity as a double-edged sword: Deaf enhancements and dyslexic deficits in motion processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 701-714.

Suchman, R.G. (1966). Color-form preference, discriminative accuracy and learning of deaf and hearing children. *Child Development*, 2, 439-451.

Tharpe, A.M., Ashmead, D.H., & Rothpletz, A.M. (2002). Visual attention in children with normal hearing, hearing aids, and children with cochlear implants. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 45, 403-413.

Wilson, M., Bettger, J.G., Niculae, I., & Klima, E. (1997). Modality of language shapes working memory: Evidence from digit span and spatial span in ASL signers. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 2(3), 150-160.