

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Filosofia, Sociologia, Pedagogia e Psicologia applicata Dipartimento di Psicologia generale

Corso di Laurea Magistrale in Psicologia clinica

Tesi di Laurea Magistrale

Sonificazione di dati astronomici

Sonification of astronomical data

RELATORE:

Prof. Massimo Grassi

LAUREANDA:

Martina Barbieri

Matricola: 2017722

INDICE

INTRODUZIONE	1
1. Concetto di sonificazione	2
2. I vari tipi di sonificazione	3
3. Modelli della sonificazione	5
4. Sonificazione in astronomia	10
5. Associazioni cross modali tra dimensioni uditive e visive	14
5.1 Studi sulla Speeded classification task	17
5.2 Studi sulla la modellazione dell'integrazione multisensoriale	23
5.3 Percezione della sonificazione in base alla distanza	25
METODO	27
Soggetto	27
Apparato	27
Stimoli e procedure	28
Esempi	29
Esperimento	29
RISULTATI	30
Medie e calcoli	30
Sensibilità d'	34
Criterio c	37
DISCUSSIONE	40
Spunti per la ricerca.	44
DIDLIOCD A ELA	16

INTRODUZIONE

Gli esseri umani attraverso l'uso continuo di tutti i loro sensi possono interagire con il proprio ambiente fisico. Uno dei metodi basici usati per questo è proprio l'interazione; infatti, quando un essere umano svolge un'azione, il mondo circostante produce una reazione e di conseguenza noi apprendiamo. L'apprendimento è un comportamento complesso che coinvolge molte attività e comportamenti e collega la percezione di base con processi cognitivi. Di conseguenza una percentuale significativa di studi psicologici è stata sviluppata sull'argomento. Questo processo di interazione con il mondo e quindi di apprendimento avviene attraverso gli organi di senso. Al di là degli spunti visivi sicuramente importanti, sono i sensi dell'udito e del tatto che danno un riscontro accurato e qualitativo sulla nostra interazione con gli oggetti fisici nel mondo.

Il senso più utilizzato per apprendere è sicuramente la vista, mentre uno dei meno considerati, anche se non di poco importanza, è l'udito. Ma molte volte il suono potrebbe essere la rappresentazione scelta come mezzo di comunicazione per dare l'informazione, visto la nota superiorità dell'udito per discriminare particolari tipi di segnali in natura.

Il termine coniato per la trasmissione delle informazioni sonore, su cui noi ci soffermeremo, è la sonificazione. Nella presente tesi parlerò della possibilità di sonificare i dati della ricerca astronomica e illustrerò una applicazione di una sonificazione ad un particolare dato astronomico: le cosiddette "curve di luce".

Nel resto del testo, prima spiegherò il concetto di sonificazione, ne illustrerò i vari tipi e poi i modelli utilizzati nelle ricerche. Dopo di che passerò a illustrare come la sonificazione viene utilizzata in ambito astronomico e intesa in ambito psicologico attraverso associazioni cross modali analizzate nel tempo. Infine, esporrò l'ipotesi su cui questa ricerca andrà a svilupparsi.

1. Concetto di sonificazione

In questo capitolo parleremo della sonificazione, ovvero quel processo per cui si rappresenta uditivamente ciò che normalmente viene rappresentato visivamente. Premetto che la sonificazione è ancora un campo di ricerca relativamente giovane. La definizione più breve accettata per la sonificazione è quella di Barrass e Kramer et al. ovvero "audio non vocale per trasmettere informazioni". Essa è la trasformazione delle relazioni di dati in relazioni percepite in segnale, allo scopo di facilitare la comunicazione o l'interpretazione. La domanda che ci si pone è come si riesce a svolgere questa trasformazione di dati. La questione principale di come sonificare dei dati è il mapparli; la prima cosa che deve essere fatta è capire come mappare o correlare le informazioni originali ai parametri sonori (intonazione, ampiezza, e timbro). In pratica, la sonificazione non è altro che un processo consistente nel mappare i numeri in parametri musicali (intonazione, durata, volume, posizione del "pan" e timbro) per capire gli schemi presentati. Infatti, quando si ha a che fare con "big data" (cioè con grandi quantità di dati), è più facile analizzarli trasformandoli in suono (sonificazione), anziché visualizzare miliardi di numeri su uno schermo. Essendo la sonificazione un approccio meramente interdisciplinare che si basa sulla visualizzazione delle informazioni, è necessaria la conoscenza in altri ambiti per comprenderla pienamente. Viene utilizzata in diversi campi come l'ingegneria audiovisiva, l'audiologia, l'informatica, informatica, linguistica, matematica, musica, psicologia, e telecomunicazioni, per citarne solo alcuni, non ancora legati da un insieme di principi o regole in comunione. Nonostante la sonificazione in queste discipline abbia uno scopo

diverso, unica caratteristica in comune è l'uso recente di display uditivi. Nell'utilizzo di un display uditivo, i dati sono trasmessi all'ascoltatore umano attraverso il suono.

Attraverso la tecnologia di digital computing tutte le informazioni audio, anche se risalenti a più di 50 anni fa, sono diventate accessibili alla ricerca. Per interpretare i dati sonificati, gli ascoltatori attingono alla loro capacità di astrazione uditiva per confrontare i suoni ascoltati con quelli presenti nella nostra mente, in modo da creare delle connessioni. Visto il concetto di sonificazione, analizzerò ora i vari tipi studiati fino ad ora.

2. Vari tipi di sonificazione

In questo paragrafo saranno evidenziati i vari tipi di sonificazione disponibili. Grazie alla ricerca sono stati esplorati fino a oggi 11 diversi tipi di sonificazione di cui 8 sono attualmente implementati nel toolkit e 3 sono prototipi separati.

Il primo è l'audificazione una tecnica di visualizzazione uditiva dove i dati vengono letti direttamente come campioni sonori.

Il secondo è la frequenza oscillatore dove i punti dati, provenienti da un canale, producono un'onda sinoidale che varia a seconda degli stessi.

Il terzo è la sintesi additiva con suoni costanti che producono come risultato, un suono di un seno d'onda con volume che cambia.

Il quarto è la sintesi additiva con passo variabile diversa dal terzo dove i punti dati di un canale specificato controllano la frequenza fondamentale, mentre gli altri canali guidano l'ampiezza e quindi controllano il contenuto armonico momento per momento.

Il quinto è il rumore filtrato (filtro passa banda)

Il sesto è la la forma d'onda ad impulsi un canale controlla la frequenza della forma d'onda mentre l'altro la larghezza dell'impulso.

Il settimo è "i dati da annotare durata" durata di un evento tramite un sintetizzatore MIDI definito come flusso di note in cui il tempo rappresenta il parametro sotto osservazione.

L'ottavo è "i dati da annotare pitch" riguarda l'altezza degli eventi riscontrati su ciascun canale con un timbro distinguibile.

I più usati nella ricerca sono il nono, il decimo e l'undicesimo, quali intonazione e durata (un canale è mappato sulla nota e all'altro sulla sua intonazione), i test di somiglianza e i test di opposizione.

Durante i vari studi sono stati identificate cinque categorie di sonificazione che possono essere implementate da algoritmi, in modo che i suoni risultanti siano percettivamente distinguibili l'uno dagli altri. Le categorie identificate sono i dati che possono essere mappati su parametri percettivi come intonazione, volume e durata. A seguire i dati possono essere mappati su variabili sonore in modo che un timbro generale del suono rappresenti l'evoluzione dei dati (molti parametri variabili di un algoritmo di sintesi contribuiscono alla composizione del timbro). Inoltre, quando si desidera riportare molti canali di dati si può creare un mix di suoni percepibili separatamente attraverso diversi timbri sintetizzati in vari canali. Molti canali di dati possono contribuire all'evoluzione nel tempo di un singolo suono con timbro complesso. Si deve considerare che in alcuni casi un canale di dati può essere mappato da più di una variabile sonora per migliorare la percezione. Questo è un breve viaggio attraverso i vari tipi di sonificazione studiati. Nel prossimo capitolo ci soffermeremo nello spiegare le tecniche utilizzate per sonificare i dati.

3. Modelli della Sonificazione

Per spiegare le tecniche per sonificare un insieme di dati partiamo dal fatto che la natura della musica è effimera e per questo difficile da archiviare e salvare. Nonostante la completa riproduzione sia impossibile, l'uomo ha escogitato due metodi affinché essa possa perdurare nel tempo. La trascrizione delle note su uno spartito musicale contiene le istruzioni affinché il suono possa essere riprodotto, mentre la registrazione acquisisce il valore di documentazione che testimonia e riproduce un evento sonoro. Il primo metodo sottolinea il valore simbolico della musica, mentre nel secondo caso le onde vengono fisicamente convertite in segnali analogici. Queste due prospettive si ritrovano, con la stessa sequenza, nella tecnica del Parameter Mapping e dell'Audification. L' Audification è la tecnica di sonificazione più semplice che solitamente viene usata come primo approccio per avere un'impressione preliminare dei dati. Questa permette di trasporre una sequenza di dati, di solito appartenente ad una serie temporale, in onde audio. Mentre la sonificazione richiede la scelta del tipo di variabile sonora da abbinare ai dati, in questo caso la conversione viene effettuata in maniera automatica secondo dei parametri prestabiliti. Il valore dei dati, infatti, viene convertito in pressione acustica, generando un suono che è la diretta traduzione dei valori in onde. Questo metodo si presta particolarmente ai dati con valori ricorrenti che generano composizioni periodiche (come nel caso della rilevazione dei terremoti o dell'attività cerebrale). In questo caso non vi è un lavoro di mappatura personalizzata, i dati vengono automaticamente trasposti in onde audio affinchè se ne possa esplorare la natura o ne venga facilitata la percezione. L'Audification viene presentata come alternativa all'approccio della visualizzazione in quanto, tutte le serie di dati astratti possono essere visualizzate o sonificate. Il manuale fornisce una classificazione dei tipi di dati che

possono subire questo trattamento, la cui natura determina anche il tipo di segnale trasmesso.

Il primo gruppo è rappresentato dai Sound Recording Data, che vengono normalmente campionate digitalmente come serie di numeri. I CD ne sono esempio, il segnale sonoro infatti deriva da una serie di dati trasformati tramite un convertitore digitale analogico (DA). In questo tipo di sonificazione è possibile intervenire sul suono, amplificandolo, comprimendolo o allungandolo nel tempo per far emergere aspetti nascosti o creare effetti insoliti.

Il secondo gruppo comprende i General Acoustical Data, ovvero tutti i tipi di misure che seguono le stesse leggi fisiche dell'onda acustica. Ad esempio, i dati vibrazionali delle onde meccaniche, come quelle che si percepiscono da un binario ferroviario, sono facilmente trasferibili in onde musicali proprio perché costruite in maniera simile. In questi casi, spesso, viene modificata la velocità di riproduzione, la cui rilevanza però è minore rispetto al resto della comunicazione. Il campo della sismologia uditiva si serve di questo tipo di intervento, che effettua in questo modo la verifica della rappresentazione visiva.

I Physical Data rappresentano il terzo gruppo e comprendono gli altri processi fisici al di fuori del dominio meccanico citato precedentemente. Questi dati mancano di un collegamento intuitivo con il campo acustico, generando un paesaggio sonoro meno esplorato, come quello, ad esempio, della sonificazione proveniente dalle onde elettromagnetiche.

L'ultimo gruppo (Abstract Data) si riferisce a tutti i dati che non provengono da un sistema fisico e mancano quindi di un diretto collegamento con il campo acustico. Il motivo per cui in questi casi è richiesto agli ascoltatori più tempo per abituarsi, deriva dal fatto che le variabili in questione non sono conformi rispetto l'equazione delle onde

sonore. I dati astratti possono essere trasposti con più facilità qualora si riferiscano a serie temporali, come i valori proveniente dal mercato azionario.

Attualmente la tecnica dell'Audification è applicata principalmente ai campi della medicina, della fisica, della sismologia e della statistica, oltre a figurare tra gli esperimenti artistici. Passando alla tecnica del parameter mapping sonification (PMson), essa comporta l'associazione dei dati a parametri uditivi selezionati appositamente. Rispetto l'Audification questo metodo si presta per la comunicazione dei dati multivariati, in quanto la scelta dei parametri sonori da utilizzare è effettuata appositamente per il tipo di informazione da veicolare. L'interazione prodotta con il materiale da cui provengono i dati è spesso utilizzata come un significato utile per l'interpretazione delle informazioni, proprio perchè i suoni vengono scelti e gestiti ogni volta in maniera personalizzata. La scelta dei suoni è fondamentale al fine di ottimizzare il potenziale interpretativo e facilitare la comprensione da parte dell'utente. Un semplice esempio di mappatura riguarda il suono emesso dal bollitore per comunicare la temperatura dell'acqua. Un'interazione semplice prevede che all'utente venga comunicata un'informazione binaria, in base alla quale egli possa conoscere il momento in cui l'acqua è pronta. Considerando altri fattori però, come la preparazione del tè cinese che differenzia cinque fasi di bollitura, l'utente potrebbe aver bisogno di informazioni più precise riguardo lo stato della temperatura dell'acqua. Mappando questo cambiamento con un suono continuo è possibile monitorare i vari momenti durante il processo di riscaldamento per decidere quando intervenire. Da un lato, la varietà delle opzioni di mappatura offre molte opportunità per creare la combinazione adatta allo scopo comunicativo, ma dall'altro, questa libertà interpretativa comporta l'introduzione dei problemi legati all'estetica del suono e agli effetti emotivi che esso provoca. Queste componenti, infatti, non sono assolute e dipendono oltre che da fattori

culturali, anche da sensazioni personali che non possono essere predette e che hanno una forte influenza durante la decifrazione del significato finale. Per questa tipologia di sonificazione, è richiesta una particolare attenzione alla preparazione dei dati e al modo in cui essi vengono collegati ai parametri sonori. In base allo scopo della sonificazione e al messaggio sul quale si vuole porre l'attenzione, i dati possono essere organizzati, raggruppati o sintetizzati in maniera differente. Anche la tipologia di mappatura è determinata dallo scopo della comunicazione; una variabile di dati può essere comunicata tramite una o più caratteristiche sonore, così come più variabili possono essere raggruppata sotto un unico parametro sonoro o far riferimento a più suoni.

Un aspetto da considerare è che il parameter mapping sonification presenta alcuni problemi:

-Mappatura unica: non esiste un modo univoco di mappare tra componenti e parametri.

L'ascoltatore richiede quindi un po' 'di tempo di apprendimento per ottenere

conoscenza di una mappatura scelta. La necessità dell'assegnazione dei parametri porta

inoltre ad un'esplosione combinatoria tra gli elementi

-Dimensionalità limitata: la dimensionalità della sonificazione è limitata dal numero di parametri dello strumento selezionato.

-Invarianza: la sonificazione non è sensibile solo a strutture, ad esempio non è invariante rispetto alle traduzioni o rotazioni dei dati.

-Indipendenza/Uniformità percettiva: alcuni dei i parametri dello strumento sono accoppiati percettivamente (ad es. durata e tono), alcuni sono percettivamente non lineare.

-Relazione: la sonificazione è solo la sovrapposizione

L'ultimo metodo per sonificare i dati e risolvere i problemi del parameter mapping sonification è il model based sonification. Questo modello di sonificazione si basa sui suoni prodotti dagli oggetti e dai materiali in seguito all'interazione dovuta all'attività umana. Il tipo di contatto e la forza esercitata, oltre che la natura degli elementi, producono una risposta uditiva differente che tramite la digitalizzazione può essere descritta in maniera dettagliata. Rispetto l'Audification, in cui i dati definiscono il segnale del suono, e la tecnica del Parameter Mapping che si occupa della definizione delle caratteristiche sonore, la sonificazione basata sulla Modellizzazione determina l'architettura di un modello dinamico che a sua volta genera un suono. Questa tecnica si compone di sei passaggi: la configurazione del modello (Model Setup); il comportamento del modello (Model Dynamics); l'attivazione (Model Excitation); la fase iniziale (Initial State); le variabili di collegamento (Model Link-Variables); e le caratteristiche dell'ascoltatore (Listener Characteristics). Il primo passaggio consiste nella trasposizione di alcune variabili astratte in valori concreti utilizzabili per la mappatura. A questo proposito viene distinto lo spazio dei dati dallo spazio del modello; nel caso in cui il metodo usato per sonificare i dati non corrisponda in maniera matematica alle variabili sonore, la modellazione del suono si basa sulle coordinate del vettore dei dati. La dinamica del modello fa riferimento all'evoluzione temporale subita dai dati che il suono deve essere in grado di riproporre. L'eccitazione è la parte centrale di questo processo, in quanto innesca l'interazione degli utenti che sono invitati a sperimentare vari movimenti per attivare il sistema. L'inizio dell'interazione permette anche di escludere un suono che altrimenti dovrebbe mantenersi costantemente presente, facendo perdere l'interesse dell'utente nei confronti del messaggio. La fase iniziale serve per porre il sistema, descritto durante la configurazione del modello, in grado di funzionare. In seguito, il modello deve essere collegato al sistema; quest'azione dipende dal progetto e può considerare modalità minime oppure più complesse,

dipendentemente dal rapporto tra i dati e i parametri musicali. Infine, i suoni possono essere identificati come fonte unica, definendo un modello di sonificazione microscopica, in cui l'utente è invitato a isolare un suono e porre attenzione al suo significato, oppure possono concorre a creare un paesaggio sonoro distribuito, tramite una sonificazione macroscopica, in cui vari messaggi completano l'informazione finale. In base alla dimensionalità della sonificazione, oltre al suono, devono anche essere tenute in considerazione altre caratteristiche, quali la posizione, l'orientamento e la distanza dell'ascoltatore dalle sorgenti audio. Questo tipo di approccio si presta particolarmente per l'esplorazione dei dati (Exploratory Data Analysis), per lo sviluppo dell'interazione umana nei confronti del computer (Augmenting Human Computer Interaction), per il monitoraggio di processi (Process Monitoring) e per la percezione di dettagli uditivi e informazioni ambientali (Auditory Augmentation and Ambient Information).

Un approccio alternativo, recente alla sonificazione tradizionale è la sonificazione per sostituzione, ad esempio l'elaborazione melodica pulsata (PMAP). In PMAP, invece di sonificare un flusso di dati, il protocollo di calcolo è costituito dai dati musicali stessi ad esempio MIDI. Il flusso di dati rappresenta uno stato non musicale: in PMAP uno stato affettivo. I calcoli possono quindi essere eseguiti direttamente sui dati musicali e i risultati possono essere ascoltati con il minimo di traduzione. Questo approccio non ha ancora però una valenza scientifica affermata.

Nel prossimo capitolo vedremo come i modelli vengono utilizzati per sonificare i dati astronomici.

4. Sonificazione in astronomia

La visualizzazione, sotto forma di immagini, grafici e animazioni, è l'approccio standard utilizzato dai ricercatori di astronomia per ispezionare e presentare i loro dati e analisi.

Tuttavia, affidarsi esclusivamente alla visualizzazione presenta una serie di limitazioni, in quanto, i set di dati stanno diventando estremamente grandi e complessi. Ciò rende difficile visionarli in modo efficace e completo utilizzando tecniche di visualizzazione standard ed è spesso necessario dare priorità e filtrare i dati per visualizzare le informazioni ritenute rilevanti. Prima di esplorare più in dettaglio come le tecniche basate sul suono sono state applicate all'astronomia, è utile dare due definizioni chiave sul sound design e la sonificazione:

Il sound design è l'uso del suono per rendere udibile un'intenzione o, in altre parole, per rappresentare qualcosa di diverso da sé stesso, come un oggetto, un concetto o un sistema. Nel sound design, il suono potrebbe non connettersi direttamente ai dati o ai fenomeni stessi. Un esempio di questo in astronomia è usare i suoni di diverse sezioni di strumenti musicali per trasmettere le diverse caratteristiche dei pianeti rocciosi e gassosi del Sistema Solare.

La sonificazione è una tecnica per rappresentare informazioni e dati utilizzando l'audio non vocale. Quindi essa può essere considerata un tipo di sound design in cui i suoni prodotti sono legati ai dati. Uno dei metodi di sonificazione (descritto nel capitolo precedente) più comuni è chiamato mappatura dei parametri. In questo caso affermativo, le caratteristiche del suono (ad esempio, tono, volume o timbro) sono legate ai dati. Un esempio è la sonificazione di simulazioni di eventi di onde gravitazionali eseguite da Black Hole Hunter.

Nella Nasa la sonificazione può essere vista come un nuovo approccio a metà tra scienza e arte per farci partecipi della bellezza del cosmo, ascoltando il suono degli oggetti spaziali anziché limitarci a osservare le loro immagini. Sappiamo che nel vuoto i suoni non si possono propagare, eppure gli oggetti celesti cantano o più correttamente vibrano e noi, dopo avere registrato queste vibrazioni, possiamo trasformarle in suono. Il processo

di <u>sonificazione</u> si applica facilmente a tutti i fenomeni ciclici, perché le periodicità si trasformano immediatamente in frequenze sonore. Interpretare in ambito musicale i moti ritmici dei pianeti erano forse, un passatempo di Pitagora. Anche Keplero in uno dei suoi studi fa corrispondere a ogni pianeta un solido geometrico e un'armonia musicale. Inoltre, voleva fare apprezzare l'armonia del creato, ma la sua idea si può considerare il primo esempio di sonificazione del Sistema solare.

I radioastronomi collegando un altoparlante ai loro telescopi, trasformarono in suono i segnali che ricevevano. La sonificazione può rendere le meraviglie cosmiche più accessibili alle persone con cecità o disabilità visive e integrare le immagini e i contenuti disponibili per gli studenti normo-vedenti. Per farlo i dati vengono messi in musica e in una testimonianza di Christine Malec, musicista cieca e appassionata di astronomia, ricorda vividamente la prima sonificazione che abbia mai sentito: una resa del sistema planetario TRAPPIST-1 che Russo ha suonato durante uno spettacolo al planetario a Toronto. "Avevo la pelle d'oca, perché mi sentivo come se avessi una debole impressione di come ci si sente a percepire il cielo notturno, o un fenomeno cosmologico ", e riporta: "La musica offre ai dati una qualità spaziale che hanno i fenomeni astronomici, ma che le parole non riescono a trasmettere ". Tutto questo è possibile grazie alla combinazione dei dati di più telescopi sintonizzati su diversi tipi di luce. La sonificazione per esempio di un'immagine del centro della Via Lattea, include osservazioni dall'osservatorio a Chandra X-ray, immagini ottiche dal telescopio spaziale Hubble e osservazioni a infrarossi dal telescopio spaziale Spitzer. Gli utenti possono ascoltare i dati da ogni telescopio da solo o dal trio in armonia. Mentre un cursore scorre da sinistra a destra sull'immagine del centro galattico, mostrando una distesa di 400 anni luce, le osservazioni di Chandra X-ray, riprodotte sullo xilofono, tracciano filamenti di gas super hot. Le osservazioni di Hubble sul violino evidenziano sacche di formazione stellare e le

note di pianoforte di Spitzer illuminano nuvole di gas e polvere a infrarossi. Le sorgenti luminose nella parte superiore dell'immagine vengono riprodotte a toni più alti e gli oggetti più luminosi vengono riprodotti più forte. La canzone si sviluppa intorno a una regione luminosa nell'angolo inferiore destro dell'immagine, dove gas e polvere incandescenti avvolgono il buco nero super massiccio della galassia. Ci sono stati altri casi di utilizzo della sonificazione in astronomia. Infatti, dal 2003, il buco nero al centro dell'ammasso di galassie di Perseo (Abell 426) è stato associato ad un suono. Questo perché gli astronomi hanno scoperto che le onde di pressione emesse dal buco nero causavano increspature nel gas caldo dell'ammasso che potrebbero essere tradotte in una nota che gli esseri umani non possono sentire a circa 57 ottave sotto il Do centrale. La sonificazione è possibile grazie alla variazione di luminosità, le frequenze possono essere tradotte in un segnale udibile anche all'uomo. Sarebbe utile rendere la sonificazione dei dati un metodo di ricerca tradizionale, in quanto non solo abbatterebbe le barriere al proseguimento della ricerca astronomica, ma potrebbe anche portare a molte nuove scoperte.

La maggior parte, infatti, dei progetti attualmente disponibili ha un obiettivo primario di coinvolgimento pubblico (circa 36%) o ricerca (circa il 26%). Circa il 17% ha uno scopo principalmente artistico e solo circa l'8% sono per l'istruzione. Con l'attuale serie di progetti, indipendentemente dal loro obiettivo primario, la maggior parte delle sonificazioni (79%) sono progettati per il grande pubblico (che include gli alunni delle scuole) rispetto ai ricercatori (21%). È interessante notare che il 30% dei progetti ha come obiettivo primario la ricerca stanno usando la sonificazione principalmente per aiutare a comunicare la ricerca astronomica al generale public. Anche se non abbiamo dati sul numero di ricercatori che usano effettivamente la sonificazione per il loro lavoro, le prove indicano che in questo momento il numero rimane basso. Tuttavia, c'è

una chiara crescente tendenza a utilizzare la sonificazione per l'impegno pubblico e l'istruzione. Un altro risultato dei sondaggi è che la maggior parte dei progetti utilizza un approccio multisensoriale (64%) piuttosto che solo suono. Il più comune è combinare sonificazione con immagini, con il 62% dei progetti che combinano il suono con visualizzazioni grafiche, video o un'interfaccia utente grafica (GUI). È interessante notare che la maggior parte dei progetti mescola la sonificazione con video o una GUI. I dati ricavati sono visibili interamente nel Data Sonification Archive di Lenzi S., Ciuccarelli P., Liu H., Hua Y. (2020).

Mentre il numero di progetti di sound design e sonificazione dei dati astronomici è costantemente aumentato, il sound design e la sonificazione non sono ancora incorporati nel mainstream tra gli strumenti di ricerca. Le ragioni che impediscono alla sonificazione di diventare mainstream sono:

- (1) una mancanza di formazione e familiarità nella sonificazione
- (2) mancanza di standardizzazione, valutazione e diffusione.

Quindi per rendere la sonificazione il metodo di rappresentazione più diffuso nei set di dati astronomici si esorta a considerare attentamente i propri obiettivi fin dall'inizio della fase di progettazione e quindi portare avanti un rigoroso piano di valutazione, eventualmente seguendo le linee guida evidenziate da Lenzi et ale (2020), Giordano et al (2013).

Visto l'uso della sonificazione in astronomia, ora verrà analizzato come la stessa si sviluppa in ambito psicologico attraverso le associazioni cross modali.

5. Associazioni cross modali tra dimensioni visive e uditive

Tradizionalmente, i ricercatori interessati al problema del legame cross modale si sono concentrati sui ruoli che fattori spaziali e temporali giocano nel modulare l'integrazione

multisensoriale. Un ampio corpus di ricerche ora mostra che le persone preferiscono corrispondenze cross modali coerenti tra molte caratteristiche di stimolo in diverse modalità sensoriali. Negli studi di laboratorio multisensoriale sulla percezione, gli effetti di congruenza semantica sono tipicamente valutati misurando le conseguenze della presentazione tra la presenza o la mancanza di una congruenza tra immagini presentate e suoni prodotti.

Spence (2009) ci permette di identificare l'esistenza di almeno tre classi di corrispondenza cross modale.

La prima classe sono le corrispondenze strutturali date dalle peculiarità del sistema neurale che utilizziamo per codificare le informazioni sensoriali. Marchi (Marks) (1978) · li descrive come attributi intrinseci del percettivo organizzazione del sistema. Una di queste idiosincrasie evidenziate all'inizio di S. S. Stevens (1957) è che con l'aumento dell'intensità dello stimolo (indipendentemente dalla modalità dello stimolo) sembra vi sia un aumento neurale. Se ciò avvenisse potrebbe esserci una presunta corrispondenza neurale che è alla base della corrispondenza psicologica o fenomenologica tra volume e luminosità (vedi anche Marks, 1978). Un meccanismo comune per la codifica della grandezza potrebbe quindi presumibilmente fornire anche il substrato neurale per altre corrispondenze cross modali tra coppie di dimensioni protesiche (cioè basate sulla magnitudine) o continue. Uno può pensare alle corrispondenze cross modali semplicemente come ai sottoprodotti dell'architettura/dei meccanismi alla base del funzionamento del sistema cognitivo.

La seconda classe sono le corrispondenze statistiche cross modali per la quale esiste un solido supporto e riflettono una risposta adattiva da parte del nostro cervello alla regolarità del mondo in cui viviamo. Queste corrispondenze statistiche riflettono l'internalizzazione delle correlazioni naturali tra i vari stimoli che esistono nell'ambiente

(vedi Marks, 2000; R. Walker, 1987). Sembrerebbe che tali corrispondenze cross modali possano essere fruttuosamente inquadrate in termini di accoppiamento dei priori nella teoria dell'integrazione bayesiana (ad esempio, Ernst, 2006, 2007; Parise & Spence, 2009).

La terza classe sono le corrispondenze semantiche cross modali, comunemente usate per descrivere gli stimoli che si presentano senza preavviso. Uno degli esempi più spesso citati di questa classe è quella documentata tra pitch ed elevazione. Secondo Stumpf (1883), praticamente tutto il linguaggio usa le stesse parole, "basso" e "alto", per descrivere stimoli che variano in tono. Dato che usiamo lo stesso aggettivo per descrivere l'elevazione degli stimoli visivi, le corrispondenze mediate linguisticamente possono essere alla base di questa classe di corrispondenza cross modale (ad esempio, tra pitch ed elevazione). Martino e Marks (1999) hanno sviluppato un'ipotesi di codifica semantica per tenere conto di tali corrispondenze, che emergono solo dopo l'inizio del linguaggio e sembrano operare quasi esclusivamente su decisioni successive e fasi di elaborazione delle informazioni (piuttosto che sulla percezione). Le corrispondenze semantiche sembrano essere quasi esclusivamente determinate contestualmente (cioè, non ci sono corrispondenze assolute tra stimoli nelle diverse modalità).

In generale, bisogna considerare che i termini corrispondenza sinestetica e associazione sinestetica sono stati usati per descrivere solo le corrispondenze tra dimensioni sensoriali non ridondanti (ad esempio tra pitch in audition e luminosità nella visione). Al contrario, gli altri termini, come corrispondenza cross modale o somiglianza cross modale, hanno una copertura più ampia, che include sia le corrispondenze sinestetiche che le corrispondenze tra caratteristiche ridondanti di uno stimolo codificato (cioè, quelle caratteristiche che possono potenzialmente essere percepito attraverso diverse modalità sensoriali), come la dimensione o la forma di un oggetto, o l'udito e durata

visiva di un evento. Tuttavia, dovrebbe essere notato che questa distinzione non è sempre così facile da mantenere come potrebbe sembrare a prima vista. In ogni caso gli psicologi sono a conoscenza dell'esistenza di corrispondenze cross modali da molti anni. Gli studi su questo ambito si dividono in due grandi aree: studi sulla speeded classification task e studi che seguono la teoria bayesiana sulla modellazione dell'integrazione multisensoriale

5.1 Studi sulla Speeded classification task

Sono stati condotti vari studi inerenti alle associazioni cross modali valutando la speeded classification task, un tra i primi è quello di Bernstein e Edelstein (1971). Condussero uno dei primi studi per dimostrare che le persone rispondono più lentamente a stimoli visivi quando la loro elevazione sembra essere incoerente con il tono relativo di un suono irrilevante per il compito. I bersagli visivi sono stati presentati diagonalmente su entrambi i lati di fissazione (in alto a sinistra e in basso a destra, per alcuni partecipanti, oppure in basso a sinistra e in alto a destra per il riposo). I partecipanti allo studio di Bernstein e Edelstein hanno dovuto discriminare la posizione dei bersagli visivi, il più rapidamente possibile, mentre un compito uditivo irrilevante è stato presentato contemporaneamente allo stimolo visivo o leggermente (fino a 45 ms) più tardi. Sono stati osservati effetti di congruenza in quei blocchi di prove in cui il tono del suono è 100 o 1000 Hz, variato in modo casuale su base sperimentale per studio, ma non quando il tono del suono è stato bloccato. Si scopre che la corrispondenza cross modale tra pitch uditivo e l'elevazione visiva costituisce uno delle più robuste associazioni. Negli anni successivi alla pubblicazione di Bernstein e Lo studio seminale di Edelstein (1971), Lawrence Marks e il suo i colleghi dell'Università di Yale hanno condotto molti altri studi di classificazione che indagano queste corrispondenze. In questo studio la velocità e l'accuratezza della risposta sono state prove accompagnate da stimoli "matching" e "mismatching". Le interazioni cross-modali sono apparse in quattro modalità: Nel primo caso risposte alle luci fioche/luminose e colori scuri/chiari accompagnati da toni a bassa tonalità/big-pitch; nelle seconde risposte a toni inclinati accompagnati da luci fioche/luminose o da colori scuri/chiari; nel terzo studio risposte a luci, ma non a colori scuri/chiari, accompagnati da suoni sol/loud, infine, risposte alle risposte arrotondate/ forme affilate accompagnate da toni acuto/acuto; nell'ultimo caso usava anche la velocità di classificazione per illustrare le conseguenze per l'elaborazione delle informazioni umane del tono/forma corrispondenza riportata per la prima volta da Köhler (1929). Nella forma più comune- udito visivo - gli individui sinestetici affermano che i suoni suscitano immagini il cui colore, luminosità e forma variano tutti con il pitch, volume e tempo dello stimolo acustico. Si riscontrano notevoli equivalenze tra volume e luminosità (alto volume corrispondente ad alta luminosità), tra pitch e luminosità (intonazione elevata corrispondente ad alta luminosità) e tra tono e dimensioni (passo alto corrispondente a piccole dimensioni). Quindi tutti e quattro seguono una regola semplice: discriminazione è una risposta veloce (accuratezza) in quelle prove in cui lo stimolo caratterizzante è accompagnato da stimoli "corrispondenti" piuttosto che "non corrispondenti". Presumibilmente, le regole che determinano le somiglianze nella percezione risiedono anche nella memoria semantica. Prendendo spunto dallo studio di Marks, Miller ha condotto uno studio in cui i partecipanti dovevano dare una risposta accelerata in un go/no-go compito. Gli stimoli target consistevano in un target visivo presentato da sopra o sotto la fissazione e un tono alto o basso. Questi obiettivi bimodali potrebbero essere presentati singolarmente o come congruente o incongruente. I partecipanti hanno dato la stessa semplice risposta accelerata indipendentemente dal tipo di destinazione (quindi, la ridondanza a livello di

selezione della risposta potrebbe essere regolata come spiegazione di qualsiasi

corrispondenza cross modale degli effetti osservati). I partecipanti, inoltre, sono stati istruiti ad astenersi dalla risposta ogni volta che è stato presentato uno stimolo visivo alla fissazione o un suono con un tono intermedio. I risultati di Miller hanno rivelato che i partecipanti hanno risposto più rapidamente allo stimolo congruente di bersagli bimodali incongruenti (M = 585 vs. 611 ms, rispettivamente). I tassi di errore in questo studio erano trascurabili, consentendo così a Miller di escludere una reazione velocità-precisione dell'effetto di congruenza cross modale.

Successivamente si è esplorato la relazione inversa tra segnali visivi e uditivi ponendo due domande: "la luce simultanea influenza il volume del rumore bianco di basso livello?"

"L'interazione avviene attraverso un processo sensoriale precoce o un processo decisionale successivo? "Per rispondere a queste domande Odgaard et al. osservatori classificati (2004) hanno svolto due esperimenti. Il primo esperimento si basa sulla premessa che i processi sensoriali sono meno suscettibili dei pregiudizi di risposta rispetto ai processi decisionali. Cioè, se l'interazione sensoriale riflette un processo in fase iniziale, allora la percezione dell'evento di stimolo, compresa la sua intensità, dovrebbe essere in gran parte non influenzato dalla proporzione di presentazioni di stimolo che è bimodale piuttosto che unimodale. Nel secondo sono stati variati livelli nei due intervalli secondo un design fattoriale completo. Se il miglioramento fosse decisionale, dovrebbe scomparire nella progettazione a scelta forzata o, se gli osservatori fossero comunque di parte per selezionare intervalli contenenti un rumore luminoso, il miglioramento dovrebbe differire di dimensioni EdB e ML. Se il miglioramento fosse sensoriale, tuttavia, le sue dimensioni dovrebbero essere simili in entrambe le condizioni. I risultati suggeriscono due punti. In primo luogo, il rumore bianco, presentato con la luce, tende ad essere valutato come più forte del rumore

presentato da solo. In secondo luogo, il miglioramento nella condizione del volume è resistente alle manipolazioni svolte. Mentre il miglioramento della luminosità indotto dal rumore sembra riflettere un processo decisionale in fase avanzata, come una distorsione della risposta, i risultati attuali suggeriscono che il miglioramento del volume indotto dalla luce può riflettere un'interazione sensoriale in fase iniziale.

A seguire Gallace e Spence (2006) hanno diretto un certo numero di esperimenti per dimostrare che la presentazione di un suono task irrilevante (di tono relativamente basso o alto) può influenzare in modo significativo le risposte dei partecipanti su un compito di discriminazione nelle dimensioni visive. Hanno presentato due dischi grigi mascherati al momento della fissazione, uno dopo l'altro. I partecipanti dovevano rispondere se il secondo disco di dimensioni variabili era più grande o più piccolo del primo disco di dimensioni standard (Esperimenti 1–3), oppure se i due dischi avevano le stesse dimensioni o no (Esperimento 4). Sulla maggior parte delle prove, un suono è stato presentato in sincronia con il secondo disco (altrimenti, non è stato presentato alcun suono). La frequenza relativa del suono (300 o 4500 Hz) era congruente o incongruente con la dimensione del secondo disco (rispetto al primo). I partecipanti allo studio di Gallace e Spence hanno risposto più rapidamente (e un po 'di più accuratamente) sulle prove cross modali congruenti (ad esempio, dove un suono ad alta frequenza è stato presentato con un piccolo disco) rispetto alle prove incongruenti (ad esempio, quando una bassa frequenza il suono era accoppiato con un piccolo disco).

La ricerca è andata avanti e in uno studio, Parise e Spence (2008) hanno cercato di dimostrare se la congruenza cross modale tra ritmo e dimensione avrebbe modulato la grandezza di questo effetto. In particolare, hanno ipotizzato che la condizione uditiva, nella visione, dovrebbe essere più grande per coppie di stimoli uditivi e visivi congruenti che per coppie di stimoli incongruenti, come anche la sensibilità dei

partecipanti alla tempistica relativa degli stimoli visivi. Due stimoli visivi sono stati presentati in rapida successione, con una variabile. Gli osservatori hanno dovuto riferire l'ordine di comparsa degli stimoli. Nelle prove congruenti, il primo stimolo uditivo è stato congruente con il primo stimolo visivo (ad esempio, un tono acuto e un piccolo stimolo visivo) e il secondo stimolo visivo è stato congruente con il secondo stimolo uditivo (ad esempio, un tono a bassa tonalità e un grande stimolo visivo). Al contrario, nelle prove incongruenti, il primo stimolo uditivo è stato incongruente con il primo stimolo visivo (ad esempio, tono a basso tono e piccolo stimolo visivo) e il secondo stimolo visivo era incongruente con il secondo stimolo uditivo (ad esempio, un tono e un grande stimolo visivo. Questi risultati sono quindi coerenti con l'idea che la migliore integrazione multisensoriale per l'udito e la visualizzazione avviene attraverso coppie di stimoli congruenti rispetto a coppie di stimoli incongruenti.

Più recentemente, Evans e Treisman (2010) hanno diretto nove esperimenti che evidenziano l'esistenza di corrispondenze cross modali bidirezionali tra le caratteristiche del tono uditivo e dell'elevazione visiva, delle dimensioni e frequenza spaziale, ma non il contrasto. Ai partecipanti fu presentata una griglia visiva circolare in bianco e nero posizionata sopra o al di sotto della fissazione e/o con un tono ad alta o bassa frequenza (1500 e 1000 Hz, rispettivamente). I risultati mostrano che i partecipanti hanno risposto in modo più rapido (e un po' 'più accuratamente) quando gli stimoli uditivi e visivi erano presentati simultaneamente e congruenti rispetto a quando non lo erano (cioè, quando lo erano incongruente in modo trasversale). Evans e Treisman (2010) hanno riportato dei risultati simili in un altro esperimento che utilizza un'attività indiretta, in cui i partecipanti non sono più stati esplicitamente interrogati sull'elevazione del bersaglio visivo o l'intonazione del suono. Infatti, hanno semplicemente dovuto discriminare l'identità di un tono generato al computer che simulava il suono di un

pianoforte o violino, oppure giudicare l'orientamento (verso sinistra vs. verso destra) di una grata. Evans e Treisman hanno anche dimostrato associazioni cross modali tra pitch uditivo e dimensioni visive (replicando così Gallace & Spence, 2006, risultati precedenti) e tra ritmo e frequenza spazio-visiva. È tuttavia importante notare che non tutte le coppie di dimensioni uditive e visive danno luogo a significativi effetti di congruenza nei compiti di classificazione rapida. Quindi, ad esempio, nessuna corrispondenza cross modale è stata osservata tra tono e tonalità (blu vs rosso; Bernstein, Eason, & Schurman, 1971) o tra il volume e lightness (Marks, 1987). Allo stesso modo, Evans e Treisman (2010) non sono riusciti a dimostrare alcuna associazione cross modale tra tono uditivo e contrasto visivo.

5.2 Studi sulla modellazione dell'integrazione multisensoriale

Un altro modo di valutare le corrispondenze cross modali che sta diventando sempre più popolare è la modellazione dell'integrazione multisensoriale usando la teoria bayesiana (Ernst, 2006; Ernst & Bülthoff, 2004). Questa teoria si basa sul fatto che gli esseri umani (e altri animali; vedi M. L. Morgan, DeAngelis, & Angelaki, 2008) possano combinare gli stimoli utilizzando le precedenti conoscenze e informazioni sensoriali. Sembrerebbe naturale, quindi, considerare la nozione delle corrispondenze come una forma di conoscenza preliminare. Secondo Marc Ernst (2006), la forza dell'accoppiamento cross modale è data dalla conoscenza preliminare del nostro sistema sensoriale dove certi stimoli sono accoppiati e hanno già creato un loro modello. Nel caso dell'integrazione bimodale, la distribuzione è una gaussiana 2D con varianza infinita lungo la diagonale positiva (la linea di identità). La varianza lungo la diagonale negativa, quindi, dipende dalle combinazioni specifiche di segnali presi in considerazione. Secondo i modelli bayesiani di integrazione multisensoriale,

l'affidabilità della stima di una persona per quanto riguarda il conflitto intersensoriale è proporzionale alla forza dell'accoppiamento tra i segnali da integrare (cfr. Ernst, 2007). Più forte è l'accoppiamento, più è probabile che i segnali unimodali originali saranno fusi completamente in un'unica percezione multisensoriale integrata. Dal punto di vista comportamentale, questo si presenterà come una riduzione dell'affidabilità di una persona nella stima del conflitto (cioè, come soglia di discriminazione più elevata). Infatti, se la fusione è completa, il conflitto dovrebbe scomparire percettivamente. Al contrario, un accoppiamento più debole dà origine a integrazione solo parziale, che può portare a dei conflitti (risultando così in una soglia di discriminazione inferiore). Secondo questa visione bayesiana (Parise &Spence, 2009), l'esistenza di corrispondenze cross modali, almeno quelle basate su correlazioni statistiche naturali, aiuta il sistema percettivo a integrare gli stimoli appropriati provenienti da diverse modalità sensoriali, e quindi aiuta risolvere il problema del legame cross modale (vedi Ernst, 2007; Spence, Ngo, et al., 2010).

5.3 Percezione della sonificazione in base alla distanza

Uno studio interessante che mette in comunicazione sia l'ambito astronomico e psicologico è di Parseihian G, Katz B, Conan S del 2012 che si domandano: "Se un concetto di sonificazione della sorgente sonora a distanza per i display uditivi virtuali può aiutare nel contesto della creazione di un dispositivo di assistenza per ipovedenti?" In questo studio partono dal fatto che noi tendiamo a sottovalutare significativamente la distanza di fonti lontane e sopravvalutare la distanza delle fonti vicine. i segnali uditivi coinvolti nei meccanismi di stima uditivo a distanza. Il suono idealmente diminuisce di 6 dB con il raddoppio della distanza tra la sorgente e l'ascoltatore e che il rapporto energia diretta-riverberante è un segnale importante in ambienti riflettivi e interni. La percezione della distanza è maggiore in ambienti riflettivi rispetto a quelli anecoici. In

generale, la percezione della distanza uditiva ha ricevuto relativamente poca attenzione scientifica rispetto ad altri aspetti. I risultati recenti suggeriscono che la distanza uditiva può avere una rappresentazione di ordine relativamente elevato sulle aree cerebrali all'interno della corteccia temporale destra. La capacità degli esseri umani di stimare la distanza da una fonte del suono è generalmente meno accurata della capacità di determinare la direzione angolare di una sorgente sonora. Al fine di esaminare più attentamente le questioni della localizzazione a distanza, è utile definire la relazione tra distanza percepita e distanza fisica sotto forma di funzione psicofisica basata sulla stima dei rapporti verbali con scale di distanza esplicite come piedi o metri, e dei rapporti verbali con scale implicite senza unità e risposte motorie come camminare verso la posizione percepita nello spazio (Zahorik.P, Brungart D, Bronkhorst 2005). Da queste stime si deduce che l'intensità è stata a lungo considerata l'acustica primaria della distanza. L'intensità diminuisce man mano che la distanza tra una sorgente sonora e un ricevitore aumenta. Quindi la percezione sembra essere determinata da una varietà di fattori acustici e non acustici che variano da situazione a situazione, da ambiente all'ambiente, e da fonte alla fonte. Infatti, un ascoltatore in un ambiente sconosciuto che sente una sorgente sonora per la prima volta ha pochissimi segnali acustici affidabili disponibili per giudicare la distanza di quella fonte. Tuttavia, se un ascoltatore è esposto a presentazioni ripetute della stessa sorgente sonora a distanze diverse, la capacità di elaborare le informazioni nelle varie distanze uditive migliora. Negli studi le condizioni sono stazionarie, ma nel mondo reale, sia le sorgenti sonore che gli ascoltatori non lo sono e questo è un aspetto da considerare.

Ora abbiamo tutti gli elementi per presentare l'ipotesi dell'esperimento che riguarda la sonificazione di dati astronomici utilizzando le conoscenze raccolte dalla ricerca di base in psicologia.

6. Ipotesi

Questa tesi si propone di valutare un aspetto della sonificazione che non è stato ancora approfondito. Gli argomenti presentati in questa introduzione sono tra loro molto diversi. Proprio per questo, ai fini di una massima chiarezza, l'ipotesi su cui si basa la presente ricerca deve essere spiegata, ponendo comunque la base su questi studi. Nei paragrafi precedenti si è visto come molti filoni di ricerca si concentrano sullo sviluppo della sonificazione attraverso associazioni cross modali con segnali visivi e sonori. Partendo da questa introduzione, passiamo ora a un concetto diverso. Nel 1995 è stato scoperto il primo esopianeta in orbita attorno a una stella usando una tecnica chiamata metodo di transito. Quando un pianeta passa davanti a una stella o transita, la luce della stella si attenua solo un po'. Quando sonifichiamo le misurazioni della luce nel tempo, possiamo sentire l'oscuramento e persino determinare la velocità orbitale e le dimensioni del pianeta. La sonificazione della luce stellare bloccata da un esopianeta un pianeta in un altro sistema di piani è data da un suono alto, approfondito e tornato al tono originale. La sonificazione della luce stellare bloccata da un esopianeta un pianeta in un altro sistema di pianeti. Gli esopianeti sono pianeti che orbitano attorno a stelle lontane. Quando un pianeta passa davanti alla sua stella, blocca parte della luce di solito solo una quantità molto piccola, una piccola percentuale o meno. Quando sonifichiamo la luce stellare e sentiamo il calo della quantità di luce che raggiunge la Terra, potrebbe significare che un esopianeta orbita attorno a quella stella. Quando usiamo il calo della luminosità per scoprire un esopianeta stiamo utilizzando il metodo di transito perché analizziamo il cambiamento di luce mentre il pianeta transita davanti alle stelle. Possiamo imparare molto sull'esopianeta misurando il suo transito. La parte della luce bloccata ci dice quanto è grande il pianeta rispetto alla stella attorno alla quale orbita. Il periodo di tempo in cui la luce è bloccata può insegnarci quanto velocemente il pianeta

si sta muovendo. Il tempo che intercorre tra ogni transito ci dice quanto tempo impiega il pianeta ad orbitare attorno alla stella la lunghezza dell'anno del pianeta. Usando questi dati possiamo valutare le dimensioni del pianeta. In particolare, ci focalizzeremo sulle "curve di luce". Le curve di luce indicano la luminosità di una stella al passare del tempo. Quando un pianeta passa davanti a una stella la offusca parzialmente. Quindi quando la luminosità di una stella diminuisce, permette agli astronomi di scoprire la presenza di un pianeta che le orbita intorno. I dati che si andranno a ricavare da questo fenomeno sono la base di questo studio. Nella presente tesi di laurea si confronta sonificazione e visualizzazione di files audio e video di curve di luce. I files video riportati riguardano grafici a dispersione mentre i files audio sono la sonificazione di quei grafici in tre diverse modalità durata, pitch e combinazione tra le due. In questo studio si andrà a valutare quale modalità è la più adatta per rappresentare questo fenomeno per una parte della popolazione degli astronomi non vedenti. Lo studio, perciò, utilizza la sonificazione di dati astronomici (curve di luce) basandosi sulle conoscenze raccolte in ambito psicologico sulle associazioni cross modali.

METODO

Soggetti

Hanno preso parte all'esperimento 66 soggetti volontari (25 maschi e 41 femmine con un'età media di 38,5, con una gamma tra i 19 e i 57 anni) che sono stati sottoposti all'esperimento attraverso programma JATOS. I soggetti erano astronomi (n=24), persone impegnate nella ricerca (n=7), studenti dell'Università di Padova in particolare di psicologia (n=11), e altre professioni in vari ambiti (n=20). Tutti i soggetti hanno dato il loro consenso informato per partecipare allo studio ed è stato garantito a loro l'anonimato.

Apparato

Il programma utilizzato per creare l'esperimento è jpsych. Il link del programma è stato inviato alle persone interessate dallo studio a cui hanno risposto utilizzando un dispositivo. Il dispositivo poteva essere di vario tipo, bastava solo una connessione a internet e il consiglio di aprire il programma con il browser Google Chrome. Durante l'esperimento sono mostrati sia stimoli di tipo visivo che uditivo. Gli stimoli di tipo visivo rappresentati sono simulazioni di curve di luce. Nei grafici a dispersione proposti, l'asse y rappresenta il flusso della stella, l'x rappresenta il tempo. Il segnale (la curva di luce) è sempre uguale in tutte le prove. Ciò che varia nei vari stimoli è il rumore. Ovvero, ogni volta che viene generato del rumore estraendo in modo casuale valori di flusso da una gaussiana centrata in zero e con una certa larghezza. Più è larga

la gaussiana, maggiore è il rumore. Sono stati simulati curve di luce con rapporto segnale-rumore di quattro profondità: 5,10,20,40.

Il rumore è stato sommato al segnale per riprodurre le condizioni di osservazioni astronomiche effettive.

Gli stimoli uditivi sono stati generati prendendo in considerazioni i grafici a dispersione. Sono stati sviluppati stimoli uditivi basati sulla durata. Ogni punto del grafico corrispondeva a una frequenza di 565 Hz con una durata che variava da 33 ms. fino a 500 ms. Il punto più in alto corrispondeva alla durata minima mentre il punto più in basso alla durata massima. Gli altri punti sono dati da una proporzione del valore di luce/grafico in base alla posizione tra il punto massimo e minimo. Un altro stimolo uditivo era basato sulla frequenza. La frequenza andava da 100 Hz a 3200 Hz in base alla posizione dei punti sul grafico. I valori intermedi sono calcolati su scala logaritmica. L'ultimo stimolo uditivo è la combinazione tra la durata e la frequenza sviluppato in base alle caratteristiche soprascritti. Le profondità per tutti gli stimoli uditivi sono quattro: 5,10,20,40 proprio come in quelli visivi.

Stimoli e procedura

Ciascun soggetto aperto il link si trovava come prima schermata quella del consenso informato. Per procedere si doveva acconsentire. Nelle schermate successive si susseguivano delle domande a cui il soggetto doveva rispondere. Si chiedeva di indicare il genere, l'età, la professione, il dispositivo attraverso cui si svolgeva lo studio, se si utilizzassero cuffie o no. Venivano poi chieste un'autovalutazione delle proprie competenze di lettura dei grafici, su una scala likert a 4 punti (nulle, scarse, buone e ottime) e un'autovalutazione delle proprie competenze musicali, su una scala likert a 4 punti (nulle, scarse, buone e ottime). Successivamente venivano fornite le istruzioni per

svolgere il compito, venivano presentati alcuni stimoli di esempio e infine il partecipante rispondeva agli stimoli dell'esperimento vero e proprio. Nei paragrafi a seguire spiegherò l'utilizzo degli esempi e come svolgere lo studio.

Esempi

Gli esempi inseriti sono stati pensati per far comprendere meglio al soggetto il proprio compito. Il primo era un esempio di segnale in modalità grafico e il secondo in modalità uditiva. Visto che all'interno dello studio sono presenti segnali che si colgono in maniera più chiara (forti) e quelli meno (debole), abbiamo presentato un esempio di entrambi. Infine, abbiamo proposto un esempio dove non era presente alcun segnale.

Esperimento

Lo studio presenta nella schermata in modalità causale 120 stimoli uditivi e 41 stimoli in modalità grafica. Per ogni stimolo presentato il soggetto rispondeva "Y" se credeva fosse presente il segnale e "N" se credeva non fosse presente. All'interno dello studio è stato inserito anche uno stimolo bianco (ovvero non si sente e non si vede nessuno stimolo). Gli stimoli avevano una durata di circa 20 secondi ciascuno. Una volta data la risposta, si passa immediatamente al segnale successivo.

RISULTATI

Le analisi statistiche di questa sezione sono riportate in diversi paragrafi. In primo luogo erano stati ricavano i dati dalle medie della sensibilità d' e del criterio c. Successivamente era stata effettuata un'analisi statistiche mettendo in relazione le modalità (pitch, durata, durata/ pitch, visivo) con la profondità degli stimoli (5,10.20.40). messi a confronto in base al gruppo di riferimento (astronomi e non astronomi) in base alla sensibilità d' e in base al criterio c. Per analizzare i dati è stato utilizzato il programma Statistical Package for Social Science (SPSS).

Medie e Calcoli

Partendo dai risultati dell'esperimento per ogni soggetto è stata ricavata la media dei valori tra le diverse modalità e profondità del segnale (Tab.1). Successivamente è stata calcolata la media per ciascun soggetto su tutti i dati a disposizione.

Modalità	Segnale	profondità				
		5	10	20	40	No, transito
Pitch	NOSIGNAL					0,49742268
	SIGNAL	0,688581315	0,749140893	0,844827586	0,87628866	
Duration	NOSIGNAL					0,278448276
	SIGNAL	0,381944444	0,474048443	0,5625	0,594501718	
Video	NOSIGNAL					0,087553648
	SIGNAL	0,46366782	0,905923345	0,95221843	0,976027397	
Duration_Pitch	NOSIGNAL					0,488311688
	SIGNAL	0,62369338	0,761403509	0,736111111	0,856643357	
Totale		0,539462272	0,722222222	0,774805867	0,825862069	0,337639966

Tab.1 Medie in base ai risultati dei soggetti

Valutando la Tab 1 nel pitch i falsi allarmi sono al 49%. Dai risultati più grande buco più riesco ad individuarlo. Quindi ci sono tanti hit positivi, ma allo stesso tempo tanti falsi allarmi. Passando al caso della durata le risposte affermative quando il segnale non è presente è al 27%. Da questi dati la differenza principale è tra la profondità 10 e 20. Proseguendo con il segnale visivo i falsi allarmi sono al 8%. All' aumentare della profondità del buco le persone riescono ad individuarlo correttamente. Raddoppio dei risultati (46%-90%) tra 5 e 10. Da 20 a 40 si nota un sottile miglioramento (95%-97%). Nell'ultimo stimolo, ovvero il combinato tra pitch e durata, i falsi allarmi sono al 48%. I risultati sono simili a quelli del pitch. Guardano più pitch e durata. Non cambia molto da durata a pitch ma cambia la distribuzione delle risposte.

A seguito dei dati sulle medie ci si era focalizzati sul calcolo della sensibilità d' e del criterio c. La sensibilità può essere quantificata utilizzando i tassi di hit e false-alarm per determinare la distanza tra i mezzi, rispetto alle loro deviazioni standard. Una misura che tenta di farlo è appunto il d', che misura la distanza tra il segnale e il rumore.

Per poter ottenere questi risultati fini all'analisi si era utilizzata la formula:

$$d' = \Phi 1$$
 (H) $\Phi 1(F)$

Nel nostro caso utilizzando l'applicazione del foglio di calcolo Excel la formula utilizzata era:

quindi si trova sottraendo il punteggio z che corrisponde al tasso di falso allarme(F) dal punteggio z che corrisponde al tasso di hit(H).

Tuttavia, un valore pari a 0 indica l'incapacità di distinguere segnali dal rumore, mentre valori più grandi indicano una corrispondente maggiore capacità di distinguere i segnali da rumore. Il valore massimo possibile di d' è più infinito, che significa prestazioni

perfette. Possono insorgere valori negativi di d' attraverso l'errore di campionamento o la confusione della risposta (rispondendo sì quando si intende rispondere no, e viceversa); il valore minimo possibile è meno infinito.

Per quanto riguarda il calcolo del c si fa riferimento alla formula:

$$c = \frac{\Phi^{-1}(H) + \Phi^{-1}(F)}{2}$$

Utilizzando l'applicazione del foglio di calcolo excel la formula utilizzata era:

$$c = -(INV.NORM. S(H)+INV.NORM. S(F))/2$$

In questo caso si trova facendo la media del punteggio z che corrisponde al tasso di successo e al punteggio z che corrisponde al tasso di falsi allarmi, quindi moltiplicando il risultato per uno negativo.

I risultati ottenuti erano indispensabili per poter sviluppare un'analisi statistica (anova), ma prima per avere un'idea introduttiva sull'andamento dell'esperimento erano stati utilizzati anche dei grafici box plot sia i dati della sensibilità d' che quelli del criterio c come si può osservare nella Fig.1 e Fig.2.

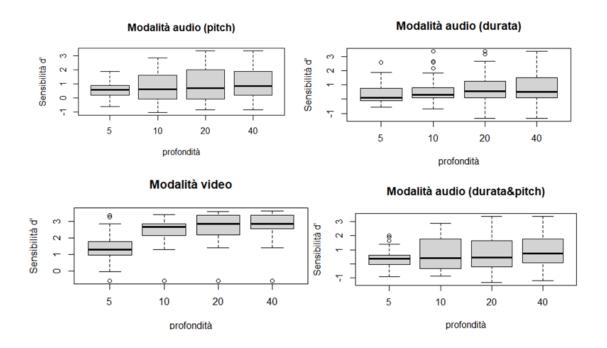


Fig 1 Nei box plot possiamo ricavare il valore medio e gli estremi dei baffi coincidono con i valori estremi della distribuzione. I punti rappresentano gli outsider ovvero i soggetti con prestazioni molto lontane dalla mediana. Rappresentano i dati della sensibilità d'.

Dall'analisi di questi box plot si nota come la condizione con il maggior numero di risposte corrette sia la condizione video. Per quanto riguarda l'audio non si riesce ad individuare la condizione più efficace.

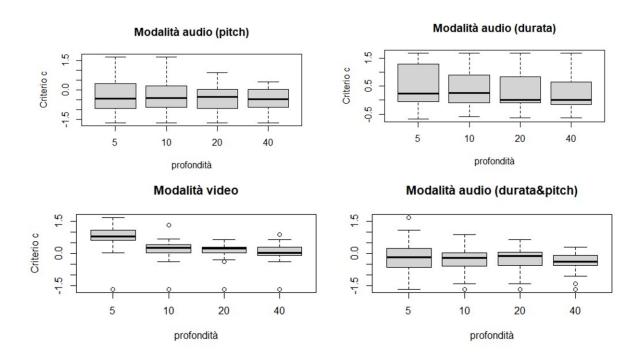


Fig.2 Rappresentano i dati derivati dal calcolo del criterio c in base alla profondità dello stimolo presentato

Partendo da questi box plot ci si era chiesto se ci fosse differenza di prestazioni tra astronomi e non astronomi.

Iniziando sempre calcolando le medie degli astronomi per ognuna delle quattro modalità e quella dei non astronomi si era arrivato a mettere in confronto queste realtà.

Maggior parte dei punteggi è a 0 e altri a 1 è un aspetto della condizione uditiva. Nel caso video non c'è differenza tra astronomi e non astronomi. Dalla Fig.3 gli astronomi hanno un punteggio più alto nella categoria pitch, risulta meni variabilità e la prestazione appare più elevata. Per i non astronomi durata e pitch sembra meno variabile, anche se la durata per i non astronomi sembra avere un punteggio più alto rispetto agli astronomi.

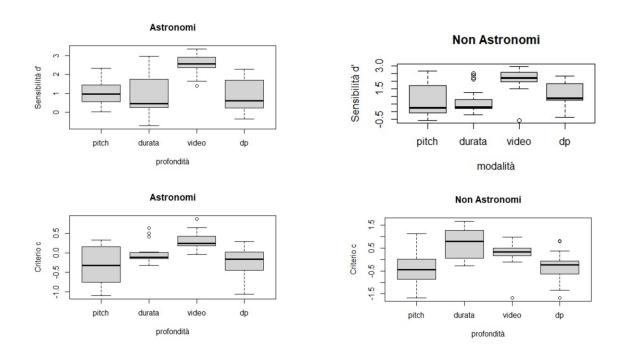


Fig.3 confronto astronomi e non astronomi basato sul criterio c e sensibilità d'.

Sensibilità d'

A seguito dei risultati appresi per una maggiore precisione ho analizzato i valori della sensibilità d' e del criterio c attraverso un'analisi della varianza (ANOVA) con tre fattori in base ai soggetti ovvero la modalità e la profondità e la distinzione tra astronomi e non astronomi.

Nell'analisi era stato utilizzato il modello lineare generali con adattamento per confronti multipli di Bonferroni. L'ANOVA, sull'analisi della sensibilità del d' con la modalità, profondità e il gruppo di appartenenza, ha definito con il test di sfericità di Mauchly e il test effetti tra i soggetti erano validi. I confronti tra i vari fattori non hanno riportato dei valori significativi in nessuno dei tre fattori considerati. L'effetto modalità e profondità sono significativi, invece il confronto modalità per gruppo (sign=0,832) come anche quello profondità per gruppo (sign=0,591) non sono significativi; quindi, non ci sono interazioni tra di loro. Risulta significativo il confronto modalità per profondità per gruppo (sign=0,218).

Dai risultati dell'analisi della varianza hanno rivelato una differenza di prestazione nelle stime tra astronomi e non astronomi. Più nello specifico, come si può ben vedere in Figura 4, gli astronomi hanno una media più alta di partenza rispetto ai non astronomi per tutte quante le profondità, tuttavia, la differenza riportata non è significativa (0,386).

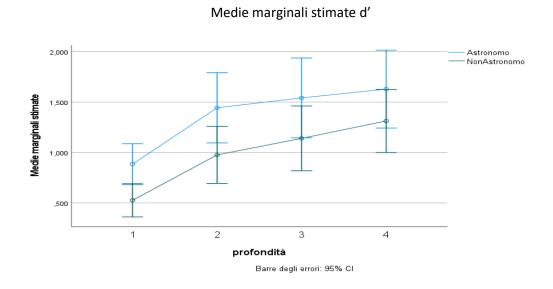


Fig.4 confronto astronomi e non astronomi in base alle medie delle prestazioni del gruppo

Successivamente approfondendo i risultati è stato valutato l'andamento in base alla modalità e profondità dei due gruppi. L'anova in questo caso ha riportato dei valori significativi nelle modalità pitch, durata, video e durata/pitch messo in relazione con la

profondità cinque ovvero quella più bassa rispetto a tutte le altre profondità in particolare sul gruppo degli astronomi; invece, nel gruppo dei non astronomi non si riscontra questa differenza nella modalità pitch.



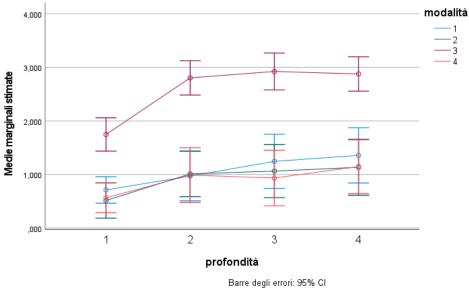


Fig.5 medie stimate in base alla sensibilità d' degli astronomi. In questo grafico la modalità 1= pitch, modalità 2= durata, modalità 3= video e 4=durata/pitch.

Nelle Fig 5 e 6 viene mostrato l'andamento per i due gruppi separatamente e dai risultati viene rimarcato il netto miglioramento nella condizione video passando dalla profondità cinque ai dieci. Negli stimoli uditivi negli astronomi il pitch è la condizione dove danno più risposte corrette, nei non astronomi anche la durata è simile al pitch.

Medie marginali stimate di d'

Gruppo = Non Astronomo

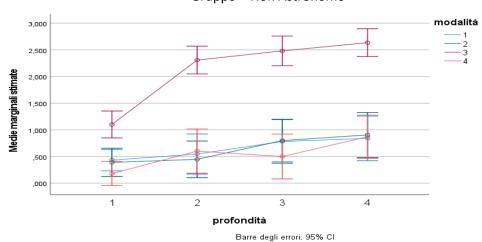


Fig.6 medie stimate in base alla sensibilità d' degli non astronomi. In questo grafico la modalità 1= pitch, modalità 2= durata, modalità 3= video e 4=durata/pitch.

Criterio c

Passando all'analisi del criterio c l'anova ha riportato che la sfericità di Mauchly e l'effetto tra i soggetti sono validi. L'interazione modalità per gruppo è significativa con Greenhouse-Geisser (sign=0,05). Non c'è interazione tra gruppo, profondità e modalità. Nessun effetto principale per gruppo.

Guardando in modo approfondito l'interazione modalità per gruppo risulta significativo il confronto astronomo non astronomo nella modalità durata (0,684). Più nello specifico la modalità video con la modalità durata/pitch sono diversi in entrambi i gruppi.

Differenza nella modalità durata significativa nei non astronomi che differisce negli altri. La modalità video negli astronomi è significativa in confronto con la modalità pitch (0,625) e la durata/pitch (0,548) ma non con la durata (0,289). I non astronomi riportano risultati significativi nel confronto durata con pitch (1,035) e durata/pitch (0,964), oltre a quelli sulla modalità video come negli astronomi.

Medie marginali stimate criterio c

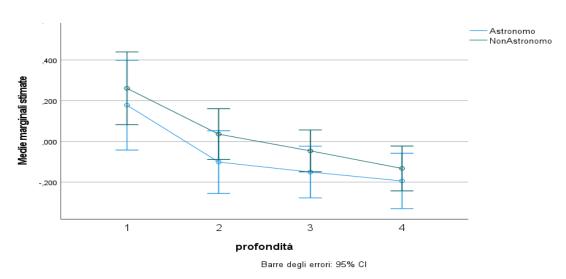


Fig.7 confronto astronomi e non astronomi in base al criterio c.

In questo grafico vengono analizzati due gruppi diversi (astronomi e non astronomi) nel quale viene evidenziata una differenza non ben specifica. Ecco, quindi, la necessità di analizzare in modo più approfondito i due gruppi per capire in modo esaustivo in cosa consiste l'effettiva diversità.

Medie marginali stimate criterio c

Gruppo = Astronomo

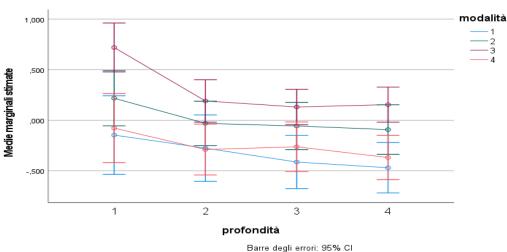


Fig.8 In questo grafico la modalità 1= pitch, modalità 2= durata, modalità 3= video e 4=durata/pitch.

Confrontando i due grafici degli astronomi e non astronomi si nota come ci sia una differenza nella condizione video e durata. Negli astronomi si conferma che la condizione video è la migliore mentre nel gruppo dei non astronomi non è del tutto chiaro perché anche la condizione durata è da considerare affidabile.

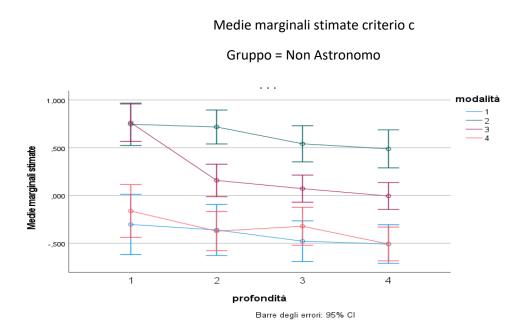


Fig.9 In questo grafico la modalità 1= pitch, modalità 2= durata, modalità 3= video e 4=durata/pitch.

DISCUSSIONE

La presente ricerca parte dal concetto di sonificazione descritto da Hermann, considerando principalmente gli esperimenti di Marks del 1987 e di Evans & Treisman del 2010 che hanno definito le basi per la formazione dello studio che è stato presentato.

Nella mia tesi di laurea ho investigato quale fosse la modalità che permette di capire, con maggiore precisione, la presenza di una curva di luce attraverso il processo della sonificazione. Negli studi precedentemente citati si lavorava sulle modalità cross modali tenendo in considerazione la velocità e l'accuratezza delle risposte basandosi sulla congruenza e non congruenza dei vari accoppiamenti proposti. Tuttavia, questo metodo non permetteva di capire quale caratteristica acustica fosse più idonea per la valutazione di uno stimolo, in quanto presentato da solo, senza il corrispettivo stimolo visivo. Per questo motivo, in questo studio, gli stimoli sono presentati ad uno ad uno, non ci sono accoppiamenti stimolo visivo/uditivo ma la presenza o di uno o dell'altro. Quello che viene preso in considerazione, infatti, è la correttezza delle risposte date.

In base ai risultati riportati nel paragrafo precedente si può affermare che la condizione in cui

i dati vengono rappresentati visivamente è quella più affidabile. Nell'esperimento, sembra la rappresentazione di tipo visivo essere quella che riporta con maggiore precisione se è stata presentata una curva di luce o no. Dai risultati si nota come già con una profondità di 10 e quindi molto piccola, si riesce a distinguere la presenza o meno del segnale che arriva al 90% e i falsi hit sono molto pochi. In questa condizione ci si aspettava un risultato molto alto visto che la lettura dei grafici risulta abbastanza utilizzata in vari ambiti di studio. Quando, infatti, c'è un conflitto tra la visione e

un'altra modalità sensoriale, la visione di solito domina (vedi Fendrich e Corballis ,2001). Condizione confermata anche dallo studio di Parise e Spence (2008), dove dimostrano che gli esseri umani prestano più attenzione alle informazioni di ordine visivo (sistema primario) per poi passare a quelle degli altri sensi.

Non limitandoci nello studio solo della condizione visiva, ma coinvolgendo anche la parte uditiva presentata in tre modalità: pitch, durata e la combinazione di entrambi.

Come abbiamo visto, gli studi fatti fino ad ora, si concentrano solo sull'integrazione tra stimolo visivo e uditivo. Da quello che sappiamo l'organizzazione percettiva nella modalità uditiva può avere un effetto sulla percettibilità nella modalità visiva. Infatti, un suono che si separa nella modalità uditiva può per questo motivo provocare una segregazione nella modalità visiva (Vroomen 2000). Questa condizione, non ci permette di valutare quale modalità nella nostra organizzazione percettiva, può essere definita alla pari della condizione visiva. Inoltre, in altri studi, analizzando separatamente le condizioni visive e uditive nelle condizioni associate e non associate, non si è riscontrata alcuna differenza tra modalità uditiva e visiva in termini di accuratezza. (Baier, Kleinschmidt e Muller 2006).

Passando ai dati a nostra disposizione contrariamente a quanto ci si poteva aspettare, non viene identificata quale condizione è la più favorevole a percepire la presenza di una curva di luce. Si nota infatti, che la condizione pitch, nonostante all'inizio abbia una percentuale di risposte corrette più alta della durata, presenta tuttavia una percentuale di falsi allarmi molto elevata. Contrariamente la condizione durata presenta delle risposte corrette più basse del pitch con meno falsi allarmi. I due dati sono inversamente proporzionali. Per poter risolvere questa condizione era necessario analizzare la condizione pitch & durata combinate. Anche in questo caso i risultati non sono significativi, visto che questa condizione riporta una percentuale simile a quella del

pitch. Questi risultati ci portano ad affermare che nella modalità combinata noi percepiamo la condizione pitch e andiamo ad escludere dalla nostra analisi la condizione durata. Lo studio di Parseihian G, Katz B, Conan S (2012) afferma come pochissimi segnali acustici siano affidabili per giudicare il tipo di suono. Quindi se un ascoltatore è esposto a presentazioni ripetute della stessa sorgente sonora a intensità diverse, la capacità di elaborare le informazioni sulla distanza uditive presenti in determinati segnali acustici cambia. Perciò il fatto che non ci sia una modalità migliore tra quelle analizzate, può essere dovuta alla "libertà" data ai soggetti nel regolare il proprio volume durante lo svolgimento dello studio. Valutando la condizione pitch, molti studi hanno cercato di valutare l'associazione cross modali tra stimoli uditivi e visivi in particolare quello di Odgaard (2004). Viene riportato che il rumore bianco presentato insieme alla luce, tende ad essere sentito come più forte del rumore proposto da solo (pitch). Questo sembra affermare come l'integrazione di due dimensioni sia una condizione migliore per valutare un segnale.

Nonostante questo, neppure nelle associazioni cross-modale non si era riusciti a definire quale condizione uditiva fosse la migliore (Miller, 1991). I nostri risultati sulla presentazione dello stimolo da solo sono in linea con questi studi.

Per quanto riguarda la distinzione dei i due gruppi (astronomi e non astronomi) possiamo valutare che la differenza tra le modalità uditive presenta delle diversità. Gli astronomi rispondono meglio nella condizione del pitch mentre per i non astronomi è più elevata la condizione della durata. Questo è un dato molto interessante perché in base a questo studio sembra che la capacità di sentire un determinato stimolo sia diversa in base alla formazione lavorativa. Questo fatto può essere vero perché l'essere umano si adatta all'ambiente circostante, in base alle proprie condizioni. Uno studio ha valutato come in una condizione critica, gli individui ciechi dalla nascita con o senza visione

residua, possono mappare l'ambiente uditivo con precisione uguale o migliore rispetto ai soggetti vedenti. I soggetti sono stati testati in condizioni di ascolto mono e binaurale. Si scopre così che i soggetti non vedenti inoltre, a differenza dei soggetti vedenti, possono localizzare correttamente i suoni. Sorprendentemente, gli individui ciechi con visione periferica residua localizzano in modo meno preciso rispetto ai soggetti vedenti o totalmente ciechi. Questo conferma come la compensazione varia a seconda dell'eziologia e dell'entità della cecità. I risultati risolvono una controversia di lunga data, in quanto forniscono prove comportamentali che gli individui totalmente ciechi hanno una migliore capacità uditiva rispetto ai soggetti vedenti, in quanto compensano la loro perdita della vista (Lessard, 1998).

Nel nostro caso invece la condizione uditiva è diversa in base all'ambiente in cui i soggetti si formano e all'ambiente di cui fanno parte che li porta a sviluppare diverse caratteristiche. La percezione dipende da diversi fattori: contesto spaziale e adattamento visuale portano a un'errata percezione delle dimensioni fisiche. L'adattamento è una tecnica comportamentale utilizzata per indagare la flessibilità delle risposte neurali a una stimolazione sensoriale specifica. Infatti, la cultura e l'ambiente sono risultati fattori significativi per valutare le capacità dell'individuo all'adattamento (Walker, 1987).

Un altro aspetto da considerare, in base ai risultati riportati, è una conoscenza preliminare presente nel nostro sistema sensoriale per identificare i segnali attraverso un modello. Questa condizione prevede quindi che nella nostra esperienza noi abbiamo già elaborato tali dati. Se questo non succede si crea un conflitto che porta "alla confusione" e questo spiegherebbe l'andamento delle risposte in questo studio (Marc Ernst, 2006).

Riassumendo quindi possiamo affermare che la modalità più efficace è sicuramente quella visiva. Per quanto riguarda le modalità uditive sembra che la migliore cambi in base al tipo di formazione ed esperienze delle persone coinvolte nello studio. Per gli

astronomi la migliore modalità è il pitch mentre per i non astronomi è la durata.

Tuttavia, questi risultati non sono significativi se confrontati con altri studi.

In conclusione, questa ricerca, ha il grande pregio di essere un primo tentativo di porre in relazione degli aspetti finora non toccati in modo approfondito dalla ricerca. Tuttavia, il suo maggior pregio è anche il suo più grande limite: l'aver analizzato una condizione molto specifica.

SPUNTI PER LA RICERCA

Questa ricerca copre vasti ambiti di indagine che ben si prestano a digressioni e implicazioni che non sono prettamente pertinenti all'argomento della mia tesi. Gli ambiti affrontati sono molto diversi tra loro e possono essere analizzati adottando fili conduttori diversi che li mettano in relazione. Durante il percorso fatto nel condurre questa ricerca, mi sono accorta che lo studio presentato può essere riprodotto (con dei miglioramenti) e ampliato. Infatti, partendo dal fatto che la ricerca della sonificazione, in ambito psicologico è molto recente, ci sono molte tecniche e condizioni da approfondire. Per quanto riguarda questo studio sarebbe utile indagare su un campione più ampio le varie modalità proposte. Un altro suggerimento è, per ogni modalità presentata, variare la frequenza o l'intensità del suono. Sappiamo, infatti che la gamma delle frequenze udibili è compresa tra 20 Hz e i 20000 Hz. Questo campo di udibilità è comunque influenzato da età, occupazione e genere (Adam, M. S. & McManus, F. 1994). Un esempio di utilizzo di una frequenza, che trova applicabilità, è quello usato in molti semafori per le persone ipovedenti. Il loro funzionamento si base sull'emissione di un suono più lento al possibile passaggio sulle strisce pedonali (luce verde), e

all'emissione di suoni che si ripetono più veloci allo scattare della luce rossa. Per rendere fattibile ciò bisognerebbe implementare le conoscenze sulla sonificazione; infatti, si potrebbero sviluppare altri filtri audio per distinguere meglio il segnale dal rumore.

Sicuramente trovare dei modi per migliorare i tempi di ricerca sarà particolarmente utile nella preparazione del quadro per utilizzare la sonificazione in situazioni in tempo reale.

Gli spunti suggeriti possano essere molto interessanti da verificare in un futuro, per approfondire la relazione che lega questi due ambiti, ma anche per aggiungerne di nuovi. A mio parere se si considerasse la possibilità di creare un innesto tra psicologia e sonificazione (con studi approfonditi), si potrebbe trovare un trattamento che aiuti a migliorare alcuni disturbi neurologi, finora trattati solo farmacologicamente. Sono molto fiduciosa nella futura efficacia di questi studi che nel tempo porteranno a un miglioramento degli stili di vita.

BIBLIOGRAFIA

Adeli1 M, Rouat J and Molotchnikoff S, (2014) Audiovisual correspondence between musical timbre and visual shapes ORIGINAL RESEARCH ARTICLE published.

Artzi e and Marks I (1995) Visual-auditory interaction in speeded classification: Role of stimulus difference Perception & Psychophysics /995,57 (8), //5/-//62

Baier B, Kleinschmidt, A and Muller N. G (2006) Cross-Modal Processing in Early Visual and Auditory Cortices depends on Expected Statistical Relationship of Multisensory Information The Journal of Neuroscience, November 22.

Ben-Tal. O, Berger J (2004) Creative aspects of sonification (Auditory display) Kingstone University.

Bonebright T.L, Miner N, Goldsmith T, Caudell T. (2005) Data Collection and Analysis Techniques for Evaluating the Perceptual Qualities of Auditory Stimuli ACM Transactions on Applied Perception.

Bruce N. Walker and Michael A. Nees Theory of Sonification Principles of Sonification:

An Introduction to Auditory Display and Sonification chapter 2

Chen Y, Spence C (2018) Dissociating the time courses of the cross-modal semantic priming effects elicited by naturalistic sounds and spoken words Psychon Bull Rev.

Chiou R, Rinch (2012) A Cross-modality correspondence between pitch and spatial location modulates attentional orienting in Perception.

Evans K. Treisman A. (2010) Natural cross-modal mapping between visual and auditory features Journal of Vision 10 (1):6, 1-12

De Leo-Winkler M.A, Wilson G, Green W, Chute. L, Henderson E, Mitchel T (2019) The Vibrating Universe: Astronomy for the Deaf Journal of Science Education and Technology 28:222–23

Dubus G, Bresin R (2013) A Systematic Review of Mapping Strategies for the Sonification of Physical Quantities Department of Speech, Music and Hearing, School of Computer Science and Communication, KTH Royal Institute of echnology, Stockholm, Sweden

Fendrich R, Corballis P (2001) The temporal cross-capture of audition and vision Perception & sychophysics, 63 (4), 719-725

Ferguson S, Cabrera D, Belharz D, Hong-Jun Song (2006) Using psychoacoustical models for information sonification Proceedings of the 12th International Conference on Auditory Display, London, UK une 20 – 23.

Ernst, M. O. (2006). A Bayesian view on multimodal cue integration. In G. Knoblich, I. M. Thornton, M. Grosjean, & M. Shiffrar (Eds.), Human body perception from the inside out (pp. 105–131). Oxford: Oxford University Press

Hermann T (2008) Taxonomy and definitions for sonification and auditory display

Proceedings of the 14th International Conference on uditory isplay, aris, France une 24

– 27.

Hermann T (2011) The sonification handbook, Logos Publishing House, chapter 12: Audification. pp. 301–321.

Hoffman M, Cook. P (2006) Feature-based synthesis for sonification and psychoacoustic research Proceedings of the 12th International Conference on Auditory Display, London, UK, June 20-23.

Hunt A Hermann T (2004) The importance of interaction in sonification Proceedings of ICAD 04-Tenth Meeting of the International Conference on Auditory Display, Sydney, australia, July 6-9.

Jamal Y, Lacey S, Nygaard L, Sathian K (2021) Interactions Between Auditory Elevation, Auditory Pitch and Visual Elevation during Multisensory Perception Multisens Res. Author manuscript; available in PMC

Klapetek A & Kim M Ngo & Spence C (2012) Does crossmodal correspondence modulate the facilitatory effect of auditory cues on visual search Atten Percept Psychophys 74:1154–1167

Kramer, B. Walker, T. Bonebright, P. Cook, J. Flowers, N. Miner, and J. Neuhoff, (1999) "Sonification report: Status of the field and research agenda," Tech. Rep., International Community for Auditory Display

Lessard N, Pare M, Lepore F, Lassonde M. (1998) Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects. Nature 395:278–80

Marks L (1987) On Cross-Modal Similarity: Auditory-Visual Interactions in Speeded Discrimination Journal of Experimental Psychology: the American Psychological Association, Inc. Human Perceptionand Performance.

Miller, J., Schaffer, R., & Hackley, S. A. (1991). Effects of preliminary information in go versus no-go task. Acta Psychologica, 76, 241-292

Odgaard E, Arieh Y, and Marks L (2004) Brighter noise: Sensory enhancement of perceived loudness by concurrent visual stimulation Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 4 (2), 127-132

Parise C, Spence C (2009) 'When Birds of a Feather Flock Together': Synesthetic Correspondences Modulate Audiovisual Integration in Non-Synesthetes PLoS ONE | May | Volume 4

Parise C e Spence C (2013) Audiovisual cross-modal correspondences in the general population Chapter 39 January

Parseihian G, Katz B, Conan S (2012) Sound effect metaphors for near field distance sonification Proceedings of the 18th International Conference on Auditory Display, Atlanta, GA, USA, June 18-21.

Pauletto S, Hunt. A (2004) A toolkit for interactive sonification Proc. ICAD.

Spence C (2011) Crossmodal correspondences: A tutorial review Atten Percept Psychophys 73:971–995.

Teramoto W· Kobayashi M· Hidaka S· Sugita Y (2013) Vision contingent auditory pitch after effects Exp Brain Res 229:97–102

Tonelli A, Curturi L, Gori M (2017) The Influence of auditory Information on visual Size adaptation Frontier's neuroscience

Ueda S, Mizuguchi A akushijin R Ishiguchi (2018) A Effects of the Simultaneous Presentation of

Corresponding Auditory and isual Stimuli on Size Variance Perception i-Perception ol. 9(6), 1–16

Vroomer G, Gelder B (2000) Sound Enhances Visual Perception: Cross-modal Effects of Auditory Organization on Vision In Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 26.

Walker R (1987) The effects of culture, environnement, age, and musical training on choices of visual metaphors or sound

Zahorik.P, Brungart D, Bronkhorst, A (2005) Auditory Distance Perception in Humans:

A Summary of Past and Present Research acta acustica united with acustica Vol. 91 409

– 420