



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA



Tecnologie di realtà virtuale per la misura dello spazio  
peripersonale:  
implementazione e testing con visore Meta Quest 2

Relatore:

Prof. Michele Geronazzo

Correlatori:

Dott. Roberto Barumerli

Dott. Alessandro Privitera

Laureandi:

Carollo Alessandro

Fontana Giovanni

Patarini Eros

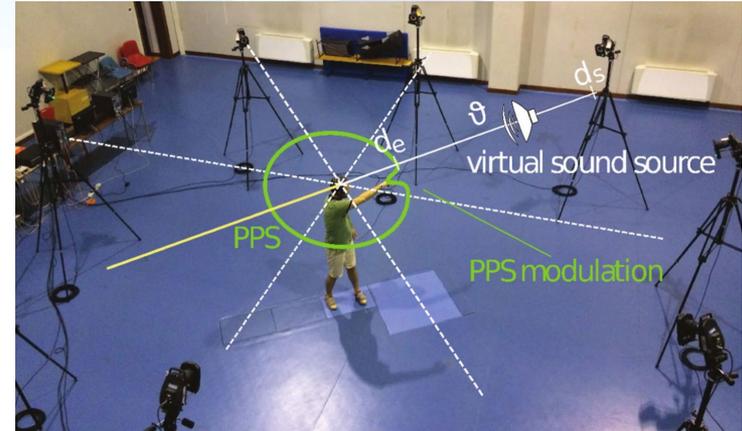
Zaninelli Alberto

## ESPERIMENTO ORIGINALE

Cosa tratta?

Introduce il concetto di **tempo di reazione premotorio (pmRT)** per caratterizzare le interazioni sonore in scenari VR. Viene esplorato lo "spazio peripersonale" degli ascoltatori e si scopre che il pmRT **può approssimare come il cervello elabora il PPS** in relazione ai suoni virtuali, replicando fenomeni neurofisiologici noti.

Lo spazio peripersonale (PPS) è uno **spazio sensoriale-motorio** che integra informazioni visive, tattili e uditive, e si estende fino al limite del nostro raggio di azione. Questo spazio è **strettamente legato alla pianificazione e preparazione delle azioni**, poiché anticipa le risposte motorie agli stimoli esterni.



Cosa si intende per spazio peripersonale (PPS)?



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

dtg



## OBIETTIVO DI TESI

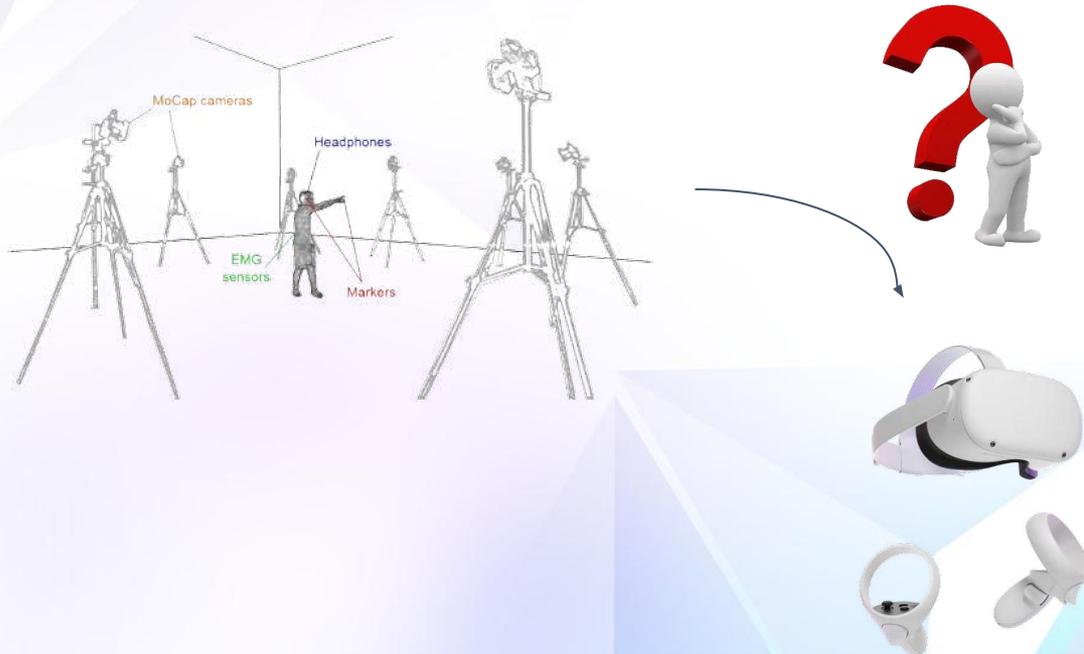
Replicare l'esperimento in VR con potenziale espansione multimodale usufruendo di un setup portatile utilizzabile anche in ambiente domestico.

 Meta Quest



 unity

## STUDIO PRELIMINARE SULLA BONTÀ DEI DATI ACQUISITI DAL VISORE



Calcolo inizio movimento  
campioni a 250 Hz

Sotto-campionamento e  
interpolazione

Calcolo inizio movimento  
campioni interpolati

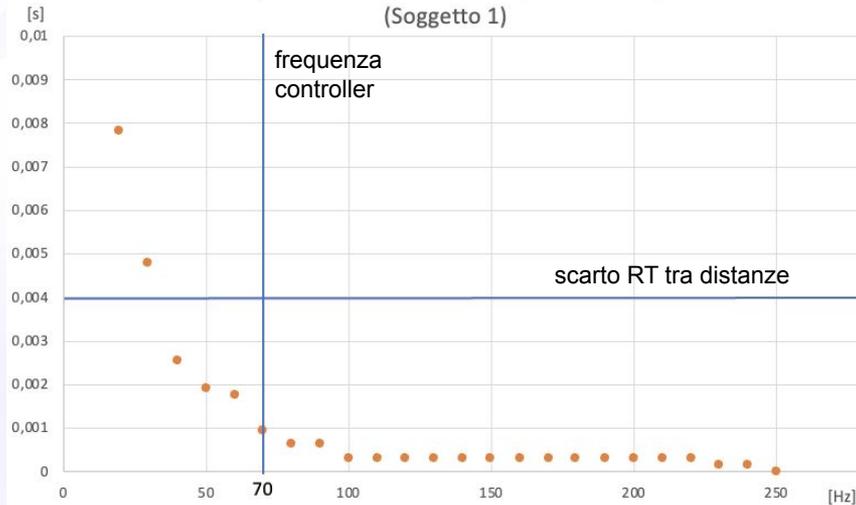
Confronto tra le due  
tipologie di campioni

Calcolo della differenza  
temporale tra le frequenze

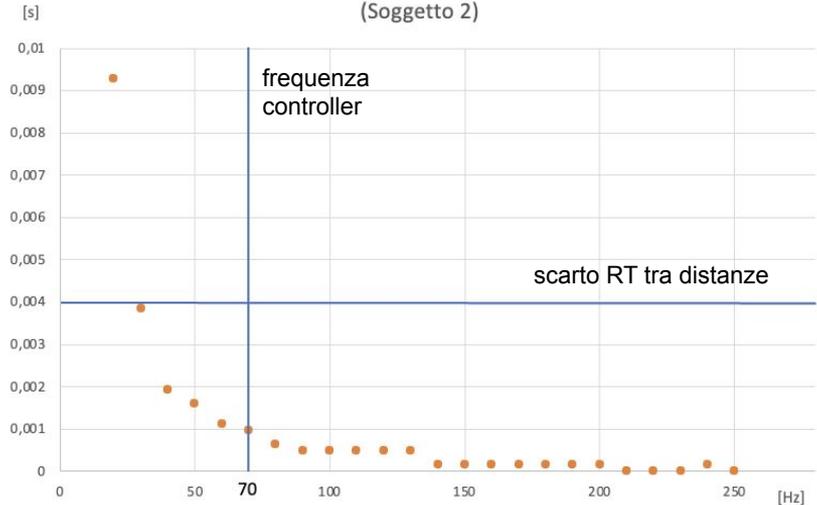
Media tra i trial per  
soggetto



Incertezza temporale al variare della frequenza di campionamento  
(Soggetto 1)



Incertezza temporale al variare della frequenza di campionamento  
(Soggetto 2)



## STRUTTURA DELL'ESPERIMENTO

Informativa

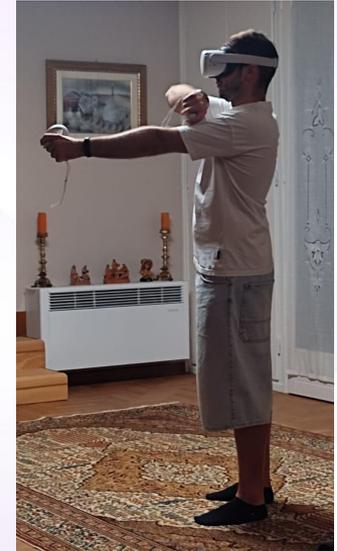
Calibrazione

Training

Reaction Time

Training

Distance &  
Direction





1. Spiegazione
2. Consenso privacy
3. Test lateralità

Informativa

Calibrazione

Training

Reaction  
Time

Training

Distance &  
Direction

## Questionario test Peripersonal Space

alessandro.carollo.2@studenti.unipd.it [Cambia account](#)

\* Indica una domanda obbligatoria

Email \*

come email da includere all'invio della

## FOGLIO INFORMATIVO

### TITOLO DELLO STUDIO:

*Tecnologie di realtà virtuale per la misura dello spazio peripersonale*

### METODO DI SVOLGIMENTO DELLA SPERIMENTAZIONE:

Durante l'esperimento ti verrà chiesto di indossare un visore per la realtà virtuale (Oculus Quest 2) e di posizionarti al centro della stanza. La tua posizione verrà tracciata dal visore, potrai muoverti liberamente sul posto e girare la testa. L'esperimento ha la durata di un'ora circa durante la quale il visore riprodurrà dei suoni campionati e ti verranno fornite delle istruzioni passo passo. Potrai prenderti una pausa in qualsiasi momento e chiedere assistenza qualora ne avessi bisogno.

### COSA ACCADRÀ AI RISULTATI DELLO STUDIO?

Saranno pubblicati su un articolo scientifico in maniera completamente anonima. Nessun dato sensibile sarà pubblicato.

### E' PREVISTO UN RIMBORSO? no

### PRIVACY, COME VERRANNO TRATTATI I MIEI DATI?

Nel caso in cui Lei decidesse di prendere parte al presente studio Le verrà chiesto di firmare il "Modulo di consenso informato" attraverso il quale Lei dichiara di essere consapevole delle attività previste e delle modalità di una Sua adesione, ed autorizzerà il responsabile della ricerca e i suoi collaboratori, ai sensi e per gli effetti del D.lgs. del 30 giugno 2003, n. 196:

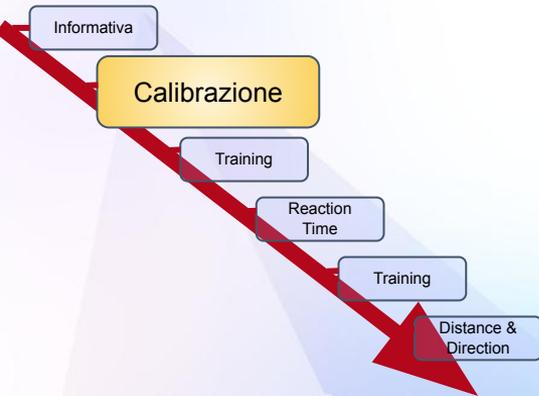




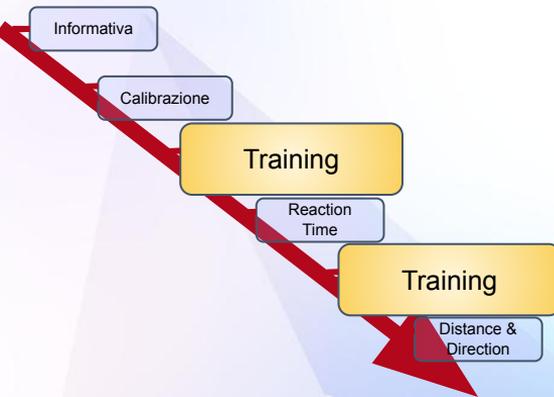
La calibrazione la svolgiamo per avere una stima della lunghezza del braccio necessaria al successivo trattamento dei dati

Al soggetto viene chiesto di puntare con il braccio sinistro verso un marker e con il controller destro appoggiandolo sopra il braccio sinistro andrà a registrare quattro posizioni in prossimità di:

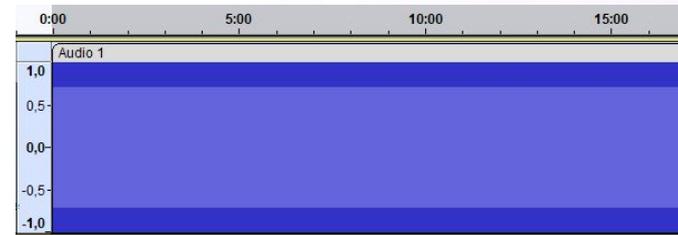
- spalla
- gomito
- polso
- mano



Ha lo scopo di **permettere al soggetto di prendere confidenza** con il task richiesto una volta che gli è stato spiegato in cosa consiste, è **comune ad entrambi i task**. Una volta capito cosa fare è possibile uscire per passare all'esperimento vero e proprio.

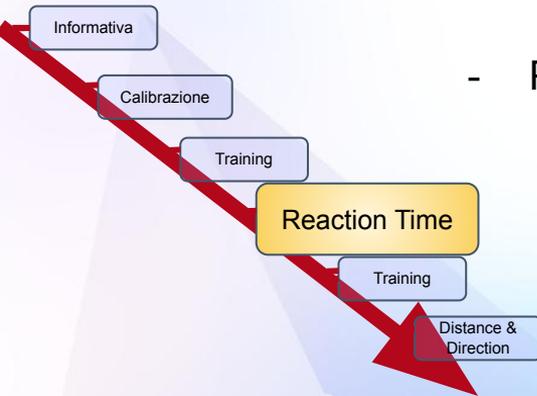
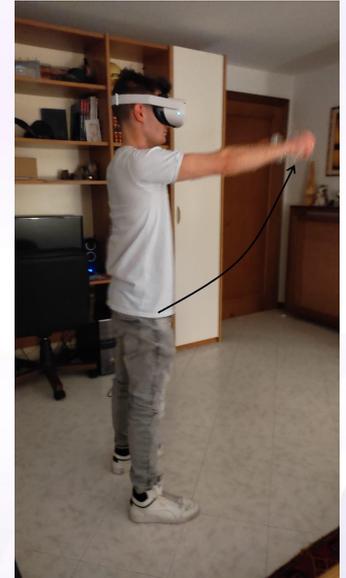
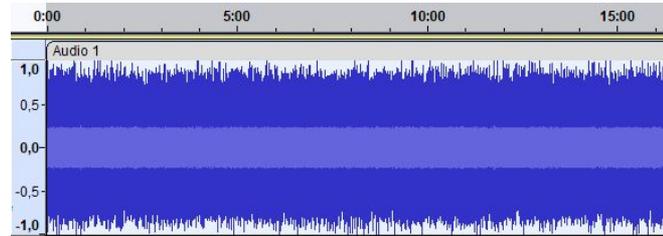


- Trial liberi
- Pure tone

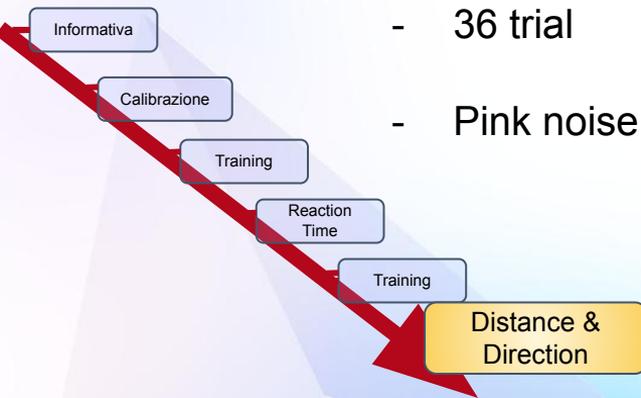


Il soggetto stando fermo e rilassato in posizione eretta ascolta un audio proveniente da una direzione scelta randomicamente. **Una volta che il suono termina il soggetto deve alzare le braccia verso l'alto il più velocemente possibile.**

- 60 trial
- Pink noise



La dinamica del suono è analoga al task di Reaction Time.  
Una volta che il suono termina il soggetto **indica** con il braccio sinistro la direzione dalla quale secondo lui è provenuto il suono e con la mano destra ipotizza a che distanza si è fermato il suono.

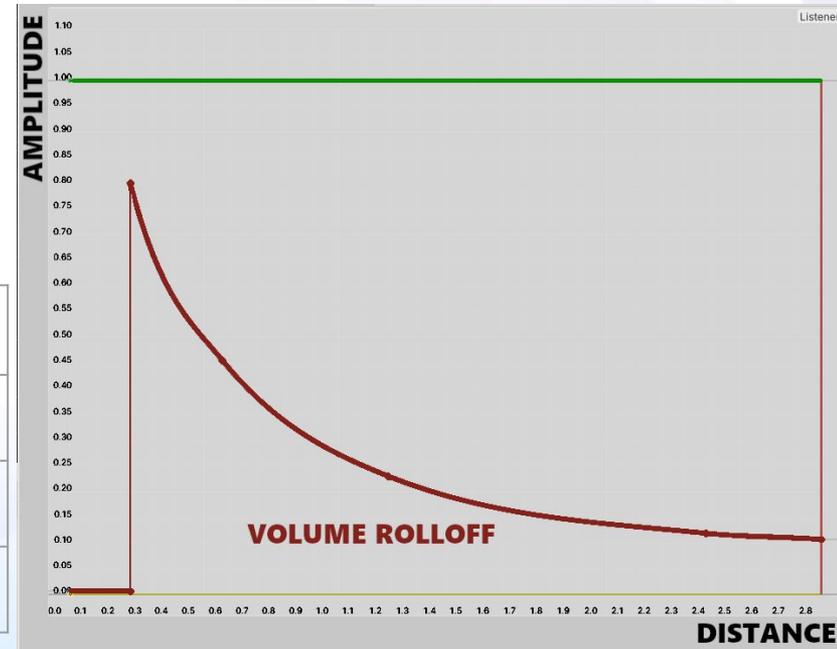


# SPAZIALIZZAZIONE DEL SUONO



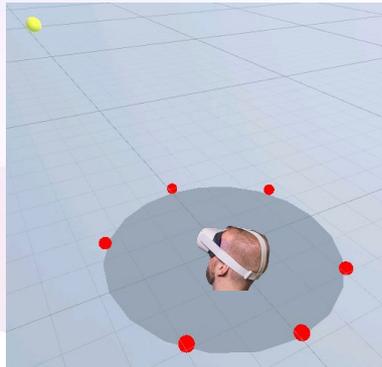
Simmetria  
audio

Distanza dalla testa	sx	sx stimato	dx	dx stimato
0.3	78.9	/	78.9	/
0.7	71	71,5404643	72.4	71,5404643
2.8	58.1	59,4992645	59	59,4992645

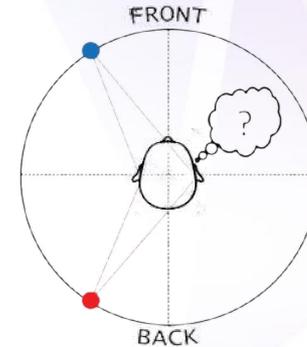


# SPAZIALIZZAZIONE DEL SUONO

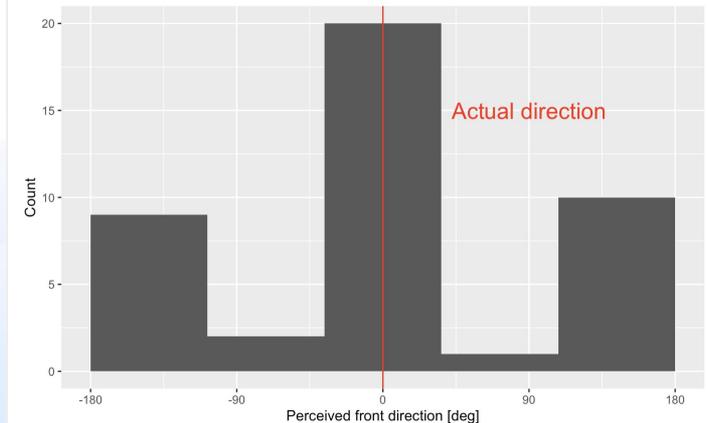
Distanza	0.3					
Direzione	0	60	135	180	-135	-60
Distanza	0.7					
Direzione	0	60	135	180	-135	-60



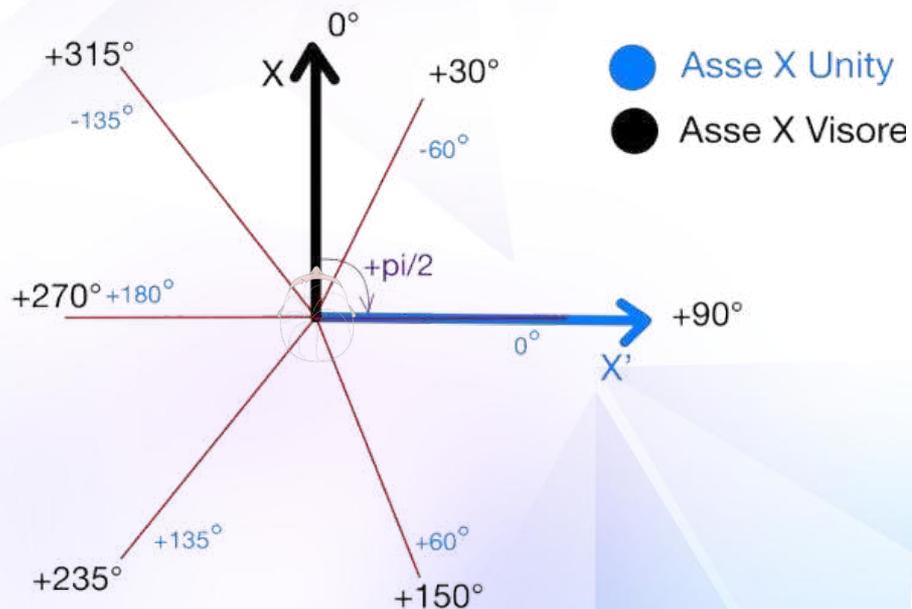
- Marker
- Sorgenti



Front-Back  
Confusion



## FASE DI PILOTING - SFASAMENTO



Sfasamento tra il sistema di riferimento di unity e il sistema di riferimento del visore.

Soluzione:  
Cambio di coordinate tramite funzione a codice

# FASE DI PILOTING - RANDOMIZZAZIONE



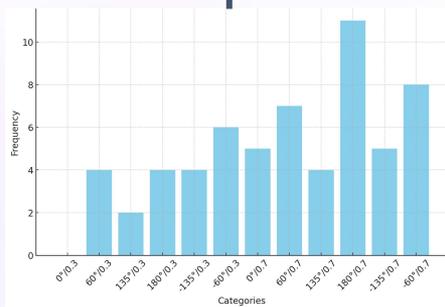
Estrazione  
randomizzata

PRE

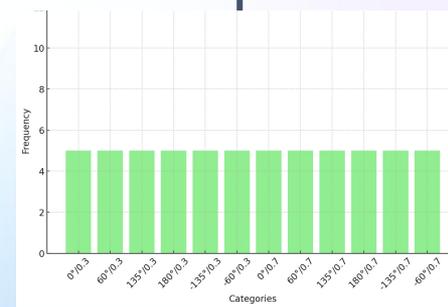
POST

Estrazione  
ordinata

Shuffle



id	distance	direction
1	3	0°
2	3	60°
3	3	-60°
4	3	135°
5	3	-135°
6	3	180°
7	7	0°
8	7	60°
9	7	-60°
10	7	135°
11	7	-135°
12	7	180°



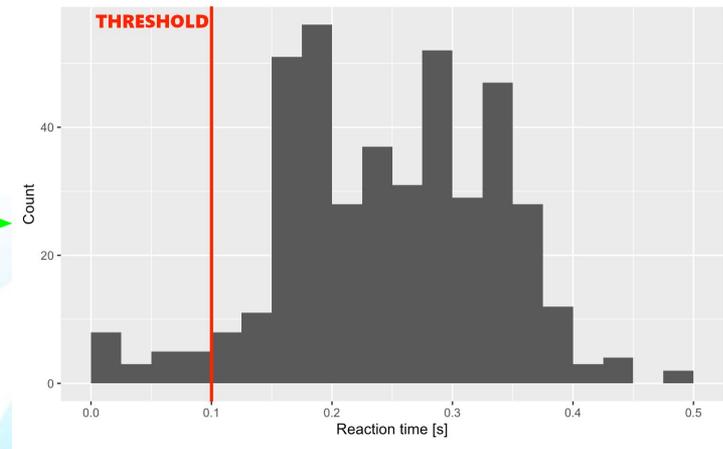
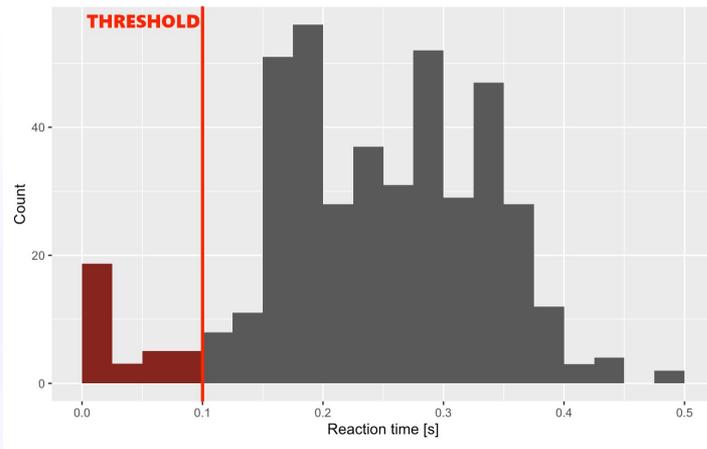
## FASE DI PILOTING - FALSE START



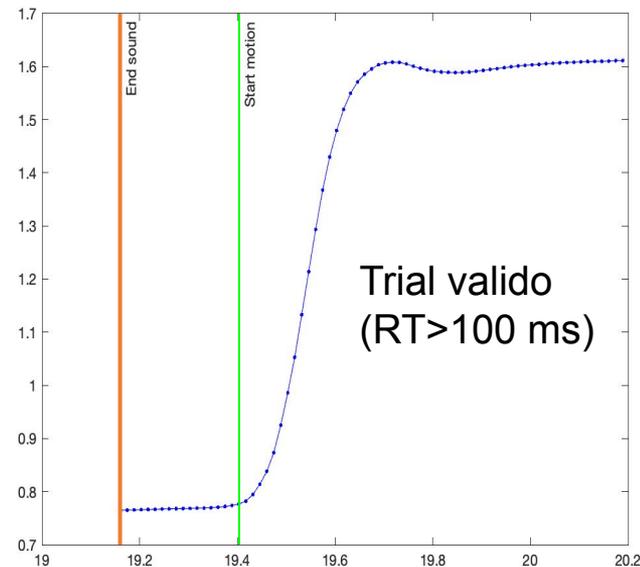
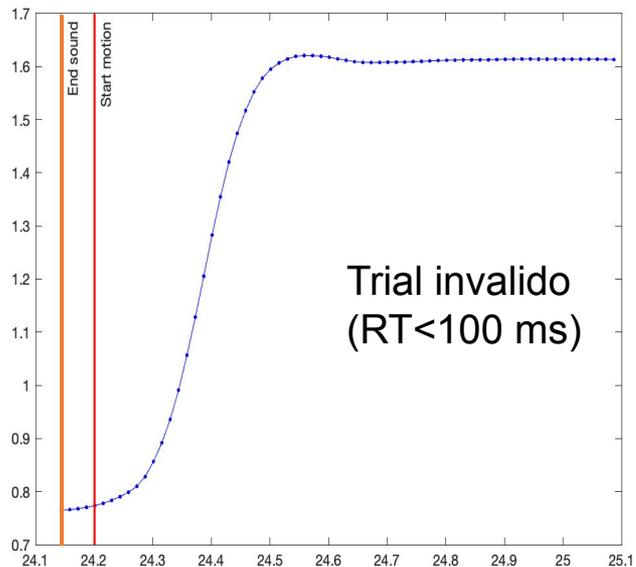
Consistente quantità di trial con  $RT < 100$  ms (più del 20%)

Soluzione:

Invalidazione trial con  $RT < 100$  ms



## FASE DI PILOTING - FALSE START



## RACCOLTA DATI

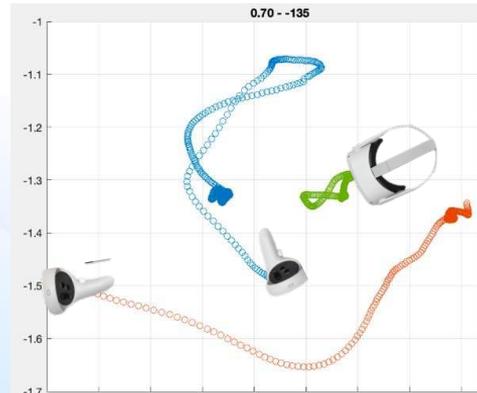
Esperimento svolto in sedi separate per ogni soggetto dato il **vantaggio di avere un setup portatile**.

Criteri di scelta dei soggetti:

- Età compresa tra 18 e 40 anni
- Destrimani

Soggetti analizzati:

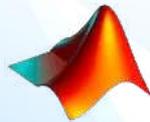
- Fase di piloting: 8
- Esperimento: 10



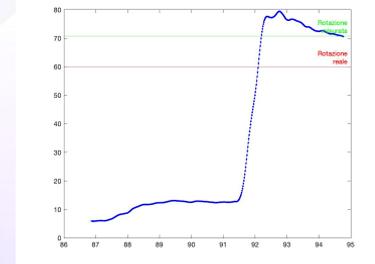
## ANALISI DATI

Reaction Time

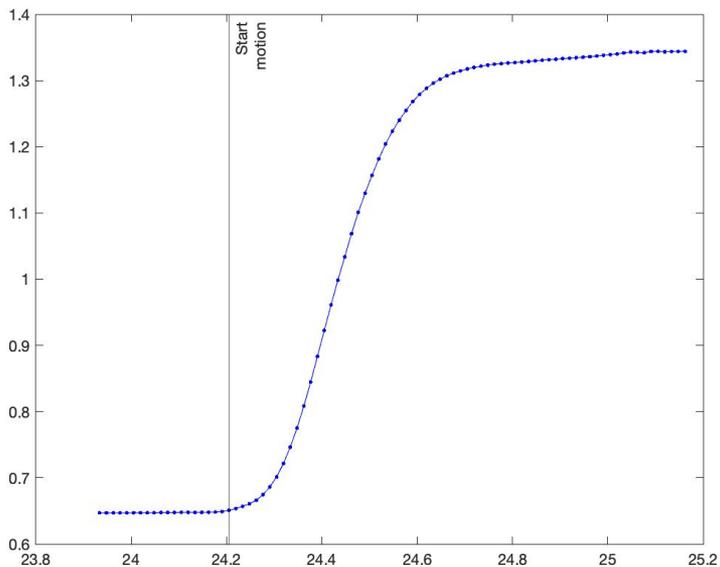
Distance &  
Direction



MATLAB®



## CALCOLO DEL REACTION TIME



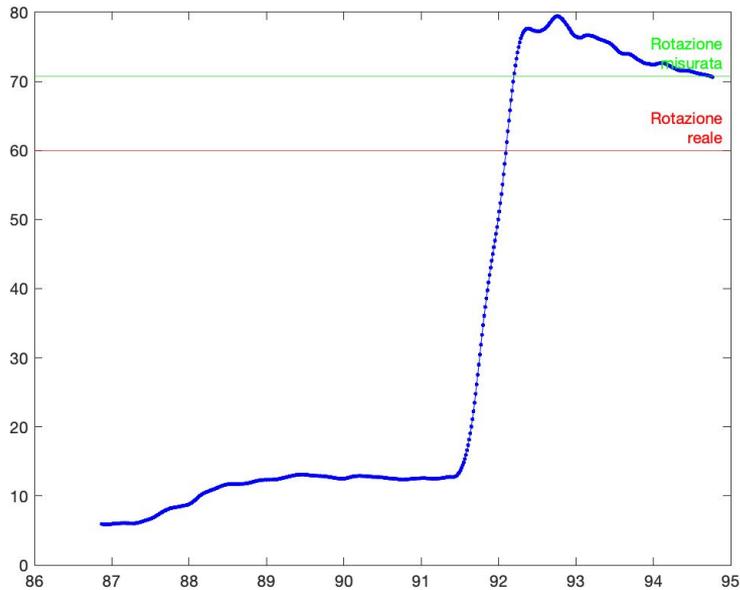
Acquisizione dei  
dati dal file csv

Interpolazione  
lineare a 70 Hz

Calcolo istante  
inizio movimento

Reaction time

# CALCOLO DELLA DISTANZA E DIREZIONE



Acquisizione dei  
dati dal file csv

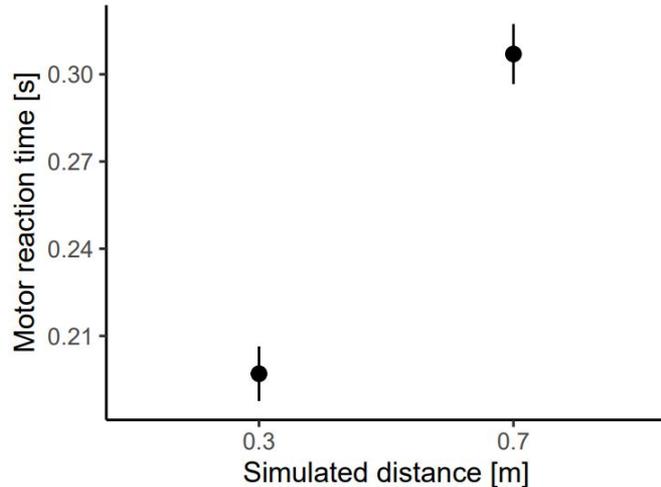
Calcolo distanza  
mano-spalla

Distanza  
controller-spalla

Direzione

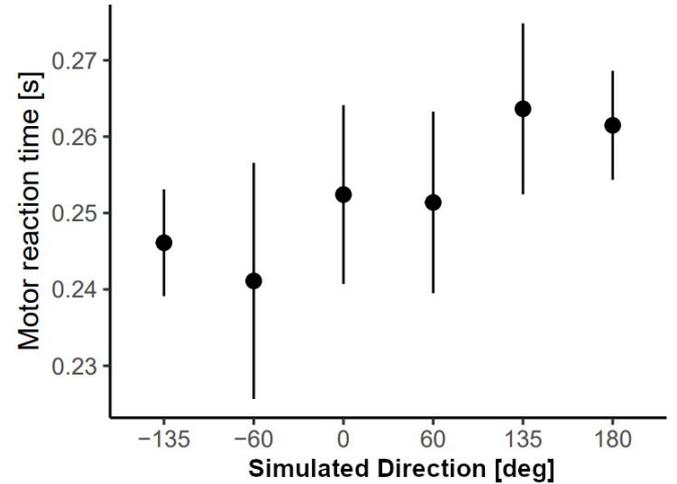
## RISULTATI - REACTION TIME

1.



Sia le medie che i rispettivi errori sono separati suggerendo **l'influenza della distanza** sul tempo di reazione.

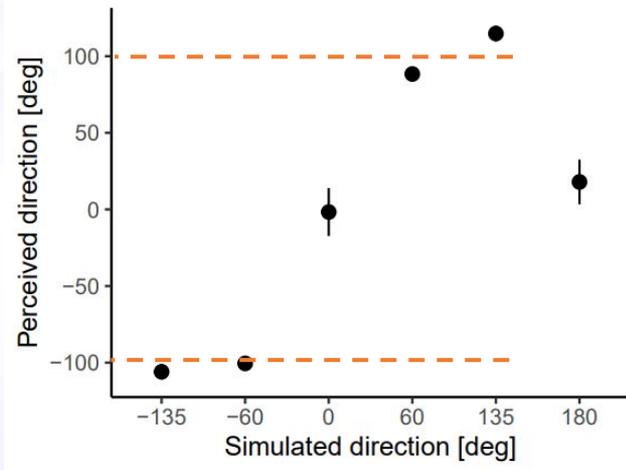
2.



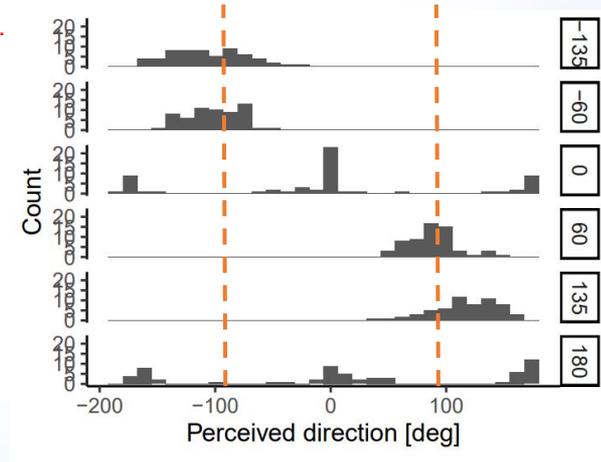
C'è in generale un sovrapposizione delle barre di errore, **non possiamo trarre conclusioni.**

## RISULTATI - DIRECTION

1.

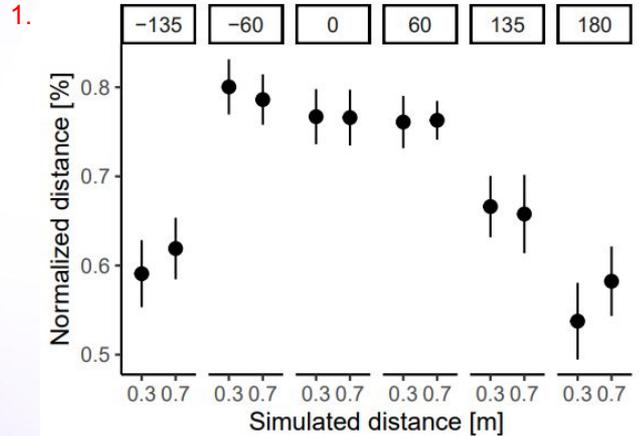


2.



Il fenomeno della front-back confusion porta i soggetti a percepire gli impulsi a 60 e 135 come 120 e 45, quindi le medie di entrambi si porteranno verso i 100°

## RISULTATI - DISTANCE



La distanza non è mai stimata correttamente, la direzione  $180^\circ$  è quella che più si avvicina ad una differenziazione ma tenendo in considerazione le barre di errore non possiamo trarre conclusioni di alcun tipo.

## CONCLUSIONI

Ottenere risultati  
attendibili



Rendere più  
accessibile il test



In generale gli obiettivi sono stati raggiunti, siamo riusciti a replicare l'esperimento svolto in laboratorio con attrezzature specifiche usando uno strumento commerciale, anche se alcuni dati risultano meno accurati rispetto all'esperimento svolto con attrezzatura specifica.

Possibile implementazione **futura**:

- Il prossimo step potrebbe essere aggiungere uno stimolo visivo a quello uditivo
- Lettura da remoto dei file csv creati al termine della sperimentazione



## BIBLIOGRAFIA

1. Laurie Geers, Paul Kozieja, Yann Coello, Multisensory peripersonal space: Visual looming stimuli induce stronger response facilitation to tactile than auditory and visual stimulations: *Cortex*, Volume 173 (2024), Pages 222-233, ISSN 0010-9452.  
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2024.01.008>
2. Geronazzo, M., Barumerli, R. & Cesari, P. Shaping the auditory peripersonal space with motor planning in immersive virtual reality. *Virtual Reality* **27**, 3067–3087 (2023).  
<https://doi.org/10.1007/s10055-023-00854-4>