

Nicolò Carpignoli

Riconoscimento
di linee curve
con sintesi vocale
per grafiche
vibrotattili
su dispositivi
touchscreen
general-purpose

IUAV ~~chialab~~

Università Iuav di Venezia

Dottorato Industriale Chialab s.r.l.

Corso di Architettura, Città e Design

Ambito di ricerca: Scienze del design XXXVI Ciclo

Relatore: Prof. Luciano Perondi (Università IUAV di Venezia)

Correlatori: Prof. Paolo Bernardis (Università di Trieste),
Prof. Massimiliano Ciammaichella
(Università IUAV di Venezia)

Progetto grafico e impaginazione: chialab

Nicolò Carpignoli

Riconoscimento di linee curve con sintesi vocale per grafiche vibrotattili su dispositivi touchscreen general-purpose

Sommario

1	Introduzione	11
1.1	L'importanza delle immagini nell'apprendimento	13
1.2	Motivazione	15
1.3	Strumenti assistivi ideali e reali	19
2	Percezione tattile	21
3	Tecnologie per grafiche tattili	25
3.1	Definizione	25
3.2	Casi d'uso	26
3.3	Stato dell'arte	27
3.3.1	Tecnologie analogiche	28
3.3.2	Tecnologie digitali	29
3.4	Perché tecnologie digitali su dispositivi general-purpose	30
3.5	Limiti e problematiche attuali	32

4	Integrare la sintesi vocale	39
4.1	Ipotesi	39
4.2	Disegno sperimentale	40
4.2.1	Verso il disegno sperimentale	47
4.2.1.1	Prima versione	47
4.2.1.2	Versione con passaggio di sezioni	50
4.2.1.3	Versione definitiva	54
4.2.2	Variabili indipendenti	57
4.2.3	Variabili dipendenti	58
4.2.4	Metriche	58
4.3	Esperimento pilota	61
4.4	Esperimento principale	64
4.4.1	Motivazione	64
4.4.2	Demografica	65
4.4.3	Metodo	71
4.4.3.1	Questionario preliminare	76
4.4.3.2	Svolgimento	76
4.4.4	Risultati e discussione	77
4.4.4.1	Preferenza utente	78
4.4.4.2	Tempo di esplorazione	81
4.4.4.3	Accuratezza del riconoscimento	85
5	Lo "spazio bianco" nelle interfacce acustiche per non vedenti	93
5.1	Il problema dello "spazio bianco"	94
5.2	Risultati sperimentali	96
5.3	Discussione e sviluppi futuri	97

6	Grafiche tattili come file per dispositivi general-purpose	99
6.1	Grafiche tattili come risorse digitali	99
6.1.1	Motivazione	99
6.1.2	Formato JSON e definizione della struttura semantica	100
6.1.3	Esempi e feedback aggiuntivi	104
6.1.3.1	Figura geometrica piana - cerchio	106
6.1.3.2	Figura geometrica piana - triangolo	108
6.1.3.2	Curva di funzione n. 1	109
6.1.3.3	Curva di funzione n. 2	110
6.1.3.4	Pianta di un edificio	111
6.2	Condividere grafiche tattili	113
6.3	Creare grafiche tattili	114
6.4	Esplorare grafiche tattili	118
6.5	Applicazioni	127
6.5.1	Integrazione degli assi cartesiani	127
6.5.2	Configurazione e impostazioni	130
6.5.3	Oltre un dispositivo per l'apprendimento	134
6.5.4	Una cover 3D per esplorare grafiche tattili	136

7	Conclusioni	139
7.1	Risultati scientifici	139
7.2	Contributo tecnologico originale	141
7.3	Sviluppi futuri	142
	Riconoscimenti	144
	Riferimenti bibliografici	146

Abstract

La comprensione di aspetti grafici nell'apprendimento in ambito didattico, per studenti ciechi e ipovedenti, risulta complessa a causa della natura visiva dei concetti. Dal 2012 diversi ricercatori stanno indagando l'uso di grafiche tattili digitali per aiutare gli studenti non vedenti a comprendere le forme e le loro relazioni spaziali, utilizzando la multimodalità in dispositivi touchscreen general-purpose, quali smartphone e tablet. In questo contesto, l'obiettivo della ricerca è di migliorare l'esplorazione di curve che presentano andamenti non perpendicolari agli assi del dispositivo. In particolare, si introduce una nuova tecnica di esplorazione con sintesi vocale, integrata con la vibrazione e i segnali acustici, per segnalare all'utente gli aspetti che dalla letteratura risultano di più difficile comprensione, ovvero i cambi di direzione del tracciato. Inoltre, si introduce una tecnica originale che segnala, con un suono, le aree passive dell'interfaccia (ovvero lo "sfondo" della figura). In letteratura, al momento, non sono presenti articoli scientifici che documentano una tecnica simile. Per validare entrambe le tecniche esplorative originali sono stati utilizzati diversi software realizzati dall'autore. Le tecniche sono state valutate in base alla preferenza degli utenti, all'accuratezza del riconoscimento delle curve e al tempo di esplorazione delle stesse, con un campione di 12 utenti con disabilità visiva (dieci utenti ciechi, due ipovedenti), di età compresa fra i 19 e i 33 anni.

I risultati sperimentali non hanno evidenziato differenze significative nelle tre metriche fra la tecnica che utilizza la sintesi vocale rispetto alla tecnica che utilizza segnali acustici. Si è però avuta evidenza con significatività statistica (p value = 0.018, test χ^2 goodness of fit) che il 67% degli utenti desidera avere una tecnica che segnali, con un suono, le aree di spazio bianco della figura, confermando le indicazioni note in letteratura. Si è elaborato un insieme di linee guida, integrando studi pregressi e i risultati della presente ricerca. L'obiettivo di queste linee guida è quello di definire una serie di standard per l'esplorazione di figure vibrotattili su dispositivi general-purpose.

Parole chiave

Dispositivi assistivi - Interfacce utente - Disabili visivi -
Dispositivi vibrotattili - Sintesi vocale.

1 Introduzione

La comprensione di concetti grafici per studenti non vedenti rappresenta un compito molto complesso a causa della natura visiva degli stessi (Sheppard & Aldrich, 2001, p. 69; Tennison et al., 2020, p. 7:2; Urbas et al., 2016, p. 63). Sebbene le grafiche tattili siano disponibili da decenni come risorse analogiche, sono costose da produrre e soprattutto non sono interattive (Sheppard & Aldrich, 2001a, p. 93).

Dal 2012, diversi ricercatori stanno cercando un modo per utilizzare le immagini vibrotattili (“TGs” ovvero *Tactile Graphics*) per aiutare gli studenti non vedenti a comprendere le forme e le loro relazioni spaziali, utilizzando la multimodalità (Tennison et al., 2020, p. 7:4). Con multimodalità si intende l’utilizzo di diversi feedback, come quello vibrotattile e acustico, su un dispositivo multimediale.

In questo contesto, mi propongo di definire una tecnica per riconoscere efficacemente le linee curve delle TGs utilizzando la sintesi vocale, le indicazioni audio e le vibrazioni, su dispositivi touchscreen general-purpose come smartphone e tablet.

In questo primo capitolo, si fornisce una panoramica dello stato dell’arte della ricerca sull’argomento e si motiva la necessità di questo studio.

Nel secondo capitolo, si approfondisce la percezione tattile riguardo all’esplorazione di figure mostrate su dispositivi multimediali.

Nel terzo capitolo si presenta il concetto di “grafica vibrotattile” con accenni di storia, casi d’uso e stato dell’arte; in questo capitolo vengono inoltre trattate le attuali tecnologie utilizzate per creare immagini vibrotattili e i loro limiti.

Nel capitolo quattro si introduce innanzitutto lo studio originale, partendo dai problemi e dalle ipotesi e proseguendo poi con il disegno sperimentale. In questo stesso capitolo si illustrano le motivazioni, il metodo, i risultati e le discussioni riguardo agli esperimenti effettuati in questa ricerca.

Il quinto capitolo riguarda la progettazione di interfacce utente per non vedenti, in particolare si approfondisce la tematica dello “spazio bianco”, ovvero l’area passiva dell’interfaccia.

Nel sesto capitolo si discutono i vantaggi nell’aver le immagini vibrotattili come risorsa digitale e si presenta un progetto originale per una definizione standard di TGs digitale, utilizzando un file JSON (Internet Engineering Task Force, 2018) definito da un *JSON-Schema open source*. Vengono forniti esempi di file che utilizzano questa definizione, tra cui la rappresentazione di curve di funzione e di piante schematiche tattili per ambienti pubblici o privati.

Inoltre, vengono presentati ulteriori dettagli sul software coinvolto in questo studio. Il software originale, creato ad-hoc dall’autore per questa ricerca, viene utilizzato per creare le figure e poi esplorarle sui dispositivi portatili.

Nel capitolo finale si riassumono i risultati scientifici e anche il contributo tecnologico originale, e si suggeriscono spunti per ricerche future in questo campo e in ambiti affini.

1.1 L’importanza delle immagini nell’apprendimento

Nell’apprendimento, a partire dalla scuola primaria, la componente visiva svolge un ruolo centrale; oggetti come le mappe, i grafici e concetti riguardanti la geometria ed altri ancora (Brixius et al., 2022, p. 4), vengono compresi meglio se le informazioni testuali sono presentate assieme ad un supporto visivo (H. P. Palani & Giudice, 2017, p. 92).

Questo vale per qualsiasi concetto grafico in cui le relazioni spaziali sono significative per la comprensione delle informazioni, come negli esempi citati in precedenza. Le relazioni spaziali non possono essere rappresentate come informazioni testuali o verbali, poiché queste rappresentazioni sono delle traduzioni dal linguaggio visivo a quello naturale, che potrebbero essere soggette a errori e a interpretazioni (H. P. Palani & Giudice, 2017, p. 92). Inoltre, le lunghe descrizioni testuali sono spesso poco accurate, comportano più tempo per essere acquisite dallo studente e non comunicano correttamente le relazioni spaziali del contenuto (Dore et al., 2023, p. 2).

Come si vedrà nel dettaglio in seguito, l’uso del feedback tattile è utile per trasmettere le relazioni spaziali (Gorlewicz et al., 2020, p. 7:2; Sheppard & Aldrich, 2001, p. 69; Urbas et al., 2016, p. 63), poiché percepire il profilo di una figura con il tatto significa percepire direttamente tali relazioni, come avviene con la vista.

Le immagini tattili (trattate nel terzo capitolo) sono da intendersi come figure esplorabili tramite il feedback tattile. Questo metodo è attualmente l’unico disponibile per i non vedenti per percepire le relazioni spaziali delle figure, nell’apprendimento e in generale in ogni contesto.

Come già detto, ciò consente l'apprendimento di diversi concetti “visivi” (Ladner et al., 2005, p. 1); se gli studenti hanno scarso accesso a tali risorse (o non ne hanno affatto), o alla formazione necessaria ad utilizzarle, la via verso la comprensione dei concetti diventa molto difficile, e questo potrebbe creare una barriera sociale e culturale (Novus Access & Ivy Tech Comm College et al., 2016, p. 72).

Questo sembra essere il motivo per cui in alcuni Paesi, come l'India, si pensa che i non vedenti non siano in grado di ottenere buoni risultati scolastici, ed eventualmente avere determinate carriere professionali in specifici ambiti. Piuttosto, il motivo potrebbe essere più complesso: non dispongono di strumenti per apprendere efficacemente quelle materie rispetto ai colleghi vedenti (Dias et al., 2010, p. 3). Secondo uno studio di Doore et al (2023) negli Stati Uniti c'è una disparità di circa il 50% contro il 77% di disoccupazione fra individui senza e con disabilità visive. Ciò motiva studi come questa ricerca di Dottorato, in cui l'obiettivo è di migliorare, in particolare, l'accessibilità ai materiali per lo studio delle materie STEM (“Science, Technology, Engineering and Mathematics”) in cui l'aspetto grafico svolge un ruolo fondamentale nell'apprendimento (Doore et al., 2023, p. 2).

Infine, come ulteriore motivazione, va segnalato come le TGs riducano la sensazione di esclusività data da codici come il Braille, perché possono essere fruite anche da persone vedenti che non conoscono i codici tattili. Ciò rende possibile la collaborazione tra vedenti e non vedenti, ad esempio fra insegnanti e studenti (Shepard & Aldrich, 2001b, p. 93).

1.2 Motivazione

Le immagini vibrotattili su dispositivi general-purpose rappresentano un modo per esplorare figure relativamente economico, dinamico e interattivo, diverso dalle stampe in rilievo e dall'uso di hardware ad-hoc (Doore et al., 2023, p. 11). Le risorse digitali possono essere create, modificate e condivise tra utenti e istituzioni. Diversi studi hanno dimostrato che le vibrazioni, su superfici piatte touchscreen, possono fornire un feedback utile ad esplorare le TGs.

Ad esempio, un recente studio di Tennison et al. (2020) ha dimostrato che le vibrazioni su dispositivi general-purpose possono essere utilizzate per trasmettere efficacemente informazioni grafiche a utenti non vedenti.

Le TGs in questo caso sono composte da un insieme di linee che fanno vibrare il dispositivo ogni volta che l'utente tocca la porzione di schermo corrispondente. Sebbene le vibrazioni non siano situate, poiché i tablet e gli smartphone non dispongono di questa tecnologia e producono una vibrazione da una posizione fissa (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:4), gli sviluppatori possono specificare la durata, la frequenza e il pattern per ogni feedback vibrotattile. Questo è utile per creare un senso di ritmo, ad esempio.

In alcuni casi, le vibrazioni possono essere utilizzate da sole o in combinazione con segnali acustici: in tal caso si parla della cosiddetta tecnologia “multimodale” (Goyzueta et al., 2022, p. 2).

Le vibrazioni sono utili per capire le relazioni spaziali, mentre le indicazioni audio sono utili per trasmettere la semantica (Giudice et al., 2012, p. 104). Una buona strategia di esplorazione per le immagini vibrotattili consiste nell'utilizzare una vibrazione specifica per le linee nelle figure (come i contorni) e segnali acustici per evidenziare i punti di maggior interesse, come i vertici. Un'altra idea è quella di usare soltanto la vibrazione e di utilizzare pattern diversi (per ritmo, durata o intensità), ad esempio per linee e vertici.

In uno di questi recenti studi (Tennison et al., 2020, p. 7:5), è stata sviluppata una libreria *open source* per il sistema operativo Android e i ricercatori hanno individuato tre diverse vibrazioni in grado di riprodurre efficacemente, per gli utenti, le seguenti informazioni: una linea formata da punti equidistanti, una linea tratteggiata e una linea continua. Questo software consente agli sviluppatori di astrarre ed evitare di utilizzare le *API* base di Android e, soprattutto, di utilizzare modelli e frequenze di vibrazione specifici che sono stati testati empiricamente.

Inoltre, dal 2012 (Giudice et al., 2012) sono stati condotti diversi studi per creare delle linee guida per la progettazione di TGs (ad esempio definendo lo spessore minimo di quattro millimetri delle linee) (Palani et al., 2018, p. 3), le quali comprendono anche dati sperimentali e strumenti software *open source*.

Sebbene questi studi sembrino promettenti, ci sono diverse ragioni per cui figure “complesse” – con più linee o con una superficie estesa – risultano difficili da percepire come TGs vibrotattili: tra queste, vi sono la limitata risoluzione spaziale delle dita e in generale dei meccanorecettori tattili (Loomis & Lederman, 1986), lo

spazio limitato dello schermo, la limitata densità di pixel dei dispositivi touch e la sensazione di intorpidimento quando si esplorano le figure per un tempo prolungato (Klatzky et al., 2014, p. 11).

Queste difficoltà possono essere risolte con una diversa strategia di esplorazione: invece di presentare sullo schermo una figura estesa e complessa, che per le ragioni sopracitate sarà difficile da riconoscere, un'idea può essere quella di rendere l'utente in grado di spostarsi in una parte diversa della figura, non disponibile inizialmente sullo schermo. Questo è possibile utilizzando le tecniche di *pan* e *zoom*.

I gesti standard di *pan* e *zoom* per dispositivi touchscreen, conosciuti dagli utenti vedenti, risultano complessi per i non vedenti, poiché senza un feedback visivo è facile sentirsi smarriti e perdere traccia della posizione corrente (H. Palani & Giudice, 2014; H. P. Palani & Giudice, 2017, p. 9:3). Ma studi recenti di Palani e Giudice (2017, p. 9:21) hanno dimostrato che le tecniche di *pan* e *zoom* possono essere utilizzate, con strategie specifiche, per esplorare efficacemente immagini vibrotattili. I ricercatori hanno ideato quattro strategie, ognuna con i propri punti di forza e casi d'uso; ad esempio, la cosiddetta tecnica del “trascinamento con due dita” può essere utilizzata per compiti che richiedono un'esplorazione rapida, poiché questo metodo è risultato il più accurato e veloce. Inoltre, hanno scoperto che non c'è correlazione tra la preferenza dei partecipanti per una certa tecnica e l'efficacia della stessa; i progettisti dovranno trovare un compromesso tra preferenza e prestazioni di riconoscimento (H. P. Palani & Giudice, 2017, p. 21).

Dai loro esperimenti emerge però un problema interessante: sembra che le linee curve e quelle non perpendicolari all'asse del dispositivo siano più difficili da riconoscere. Come hanno dichiarato i ricercatori, sono necessarie ulteriori informazioni per capire se il problema è generale o in qualche modo legato alle tecniche di *pan* e *zoom*.

Da uno studio del 2019 (Tennison & Gorlewicz, 2019, p. 6:18) è emerso che il feedback multimodale può aiutare a riconoscere le linee curve, utilizzando segnali acustici per evidenziare il punto di inizio e di fine di una linea, nonché il punto di flesso di una curva.

Durante il mio lavoro nel ricreare la stessa interfaccia software vibrotattile sopracitata, in preparazione dell'esperimento principale, ho iniziato a organizzare esperimenti pilota che prevedevano l'utilizzo di tecniche di *pan* insieme a vibrazioni e feedback audio. Purtroppo, non sono riuscito a riprodurre i buoni risultati ottenuti da Palani e Giudice (2014, p. 3) nei loro esperimenti; ho invece appurato che le tecniche di *pan* aggiungono una certa complessità all'interfaccia, già relativamente complessa per gli utenti ciechi o vedenti ma bendati. In generale, ho riscontrato la necessità, per gli utenti, di avere un feedback più specifico che aiuti a seguire la linea nei cambi di direzione, e anche di suggerimenti semantici per ricordare meglio gli aspetti più importanti della linea.

Questo mi ha portato a concentrarmi sull'esplorazione delle linee curve aggiungendo la sintesi vocale insieme alla vibrazione, con una tecnica originale che, a mio parere, potrebbe aiutare a migliorare l'interfaccia (il percorso che ha portato al disegno sperimentale è documentato in dettaglio nel capitolo quattro). La sintesi vocale non era ancora stata esplorata nei lavori precedenti, poiché

le indicazioni audio e le vibrazioni si erano dimostrate sufficienti per ottenere buoni risultati di riconoscimento. In questa ricerca esplorerò la sintesi vocale per verificare se questo feedback aggiuntivo può migliorare i risultati nel riconoscimento delle figure e riguardo alla preferenza utente.

Partendo da curve di funzioni matematiche come contenuto da esplorare con l'interfaccia, l'obiettivo è testare una prima tecnica in cui vengono utilizzati segnali acustici insieme alle vibrazioni e un'altra, originale, che utilizza la sintesi vocale insieme alle vibrazioni; l'ipotesi è che la sintesi vocale possa aiutare a superare i problemi riscontrati utilizzando la sola vibrazione o la vibrazione con feedback audio, e che la nuova tecnica sia preferita dagli utenti.

Un ulteriore obiettivo è che le informazioni ricavate da queste indagini, a prescindere dai risultati, possano contribuire alla conoscenza in questo ambito, e rappresentare un ulteriore passo verso la definizione di un'interfaccia vibrotattile standard per dispositivi general-purpose.

1.3 Strumenti assistivi ideali e reali

In questa tesi si affrontano diversi problemi che possono essere ricondotti ad un macro-problema generale: ovvero la mancanza di uno strumento assistivo per lo studio di aspetti grafici, per non vedenti, che abbia delle specifiche caratteristiche.

Da un'analisi del mercato, della letteratura qua citata nonché da interviste con docenti di istituti per ciechi, emerge la necessità di uno strumento assistivo che rispetto a quelli più comunemente in uso (le figure tattili in rilievo) sia:

- più economico da produrre
- più veloce da produrre
- interattivo
- non deperibile
- facilmente condivisibile
- facilmente trasportabile
- estendibile con nuove funzionalità.

E inoltre:

- i cui contenuti siano creabili facilmente senza bisogno di dispositivi costosi e ingombranti
- considerando lo strumento come un “lettore” e le singole “grafiche” come un contenuto da fruire tramite lo stesso, sarebbe ideale che l'utente fosse autonomo nel reperire e nel fruire dei contenuti.

Questi sono una serie di aspetti che le figure tattili in rilievo non possiedono e che rappresentano dei limiti per l'apprendimento di uno studente ipovedente o cieco.

Sono una barriera per l'accessibilità di concetti grafici che supportano lo studio di molte materie scolastiche, alcune delle quali fondamentali fin dalla scuola primaria. Il problema in oggetto rappresenta un tema di design, strettamente collegato ad un bisogno concreto degli utenti (Munari, 1997, pp. 35–36).

2 Percezione tattile

Gli stimoli cutanei e cinestesici sono fondamentali per le persone non vedenti per comprendere meglio gli oggetti che le circondano (Tennison et al., 2020, p. 7:2). In questa tesi non viene discussa in dettaglio la percezione tattile nel suo insieme, ma viene trattata in termini di differenze e somiglianze tra tatto e vista, per comprendere meglio come venga utilizzato il tatto nell'esplorazione delle immagini vibrotattili.

La percezione tattile o aptica (in inglese *tactual perception*) fa riferimento a due concetti più specifici: “percezione tattile” in senso stretto (in inglese *tactile perception*), che si riferisce alla percezione mediata esclusivamente da variazioni della stimolazione cutanea e “percezione cinestesica”, legata esclusivamente alle informazioni percepite riguardo ai movimenti del corpo (Loomis & Lederman, 1986, pp. 31–32).

Nella maggior parte delle situazioni nella vita di tutti i giorni, la percezione aptica – *tactual perception* – è ciò che meglio definisce la stimolazione che avviene sui recettori tattili dell'individuo. Negli esperimenti di questa ricerca, muovendo le dita per esplorare la figura sul display, l'utente percepisce sia l'aspetto cinestesico sia l'aspetto definito come più strettamente “tattile” (*tactile perception*), dato dalle vibrazioni emesse dal dispositivo.

Come accade per altri sensi umani, il tatto presenta al corpo umano solo una versione “semplificata” degli stimoli recepiti. Questo perché il senso cutaneo è limitato nella sua capacità di percepire dalla sua sensibilità spaziale e temporale, e agisce come un filtro naturale.

Nell'uomo sono presenti quattro classi di recettori tattili, ognuna delle quali è in grado di rispondere a specifiche frequenze di stimolo. Tali recettori sono denominati rispettivamente recettori ad adattamento lento (SA), recettori ad adattamento lento di tipo due (SA II), recettori ad adattamento rapido (RA) e corpuscoli paciniani (PC) (Loomis & Lederman, 1986, pp. 31–37). Determinati stimoli possono essere percepiti anche simultaneamente da più recettori.

La percezione vibrotattile è gestita dai canali RA e PC: il canale RA è responsabile della percezione di segnali con una frequenza fra i 3 Hz e i 100 Hz, mentre il PC è il canale in grado di percepire vibrazioni alle frequenze più alte ma non inferiori a 10 Hz (Tennison et al., 2020, p. 7:3). Frequenze diverse suggeriscono al corpo umano una diversa percezione del ritmo e possono essere collegate a diverse caratteristiche degli oggetti.

Ad esempio, Tennison et al. (2020, p. 7:11) hanno dimostrato che degli stimoli a 2,5 Hz possano essere utilizzati per rappresentare linee non continue (e quindi per modellare le linee tratteggiate), mentre quelli a 50 Hz per contenuti costanti e “continui” (come una linea non interrotta o il contorno di una forma). Hanno inoltre evidenziato come stimoli cutanei sotto la frequenza di 3 Hz vengano percepiti come un lento movimento ondulatorio.

Esiste una soglia minima, che rappresenta il più piccolo spostamento rilevabile per il tatto (dai recettori nel loro insieme), osservata tra 150 e 300 Hz di frequenza in un'area inferiore a 0,1 μm (Choi & Kuchenbecker, 2013, p. 2094). Questi valori non sono uguali per ogni individuo, poiché molti fattori possono influenzare l'acuità ovvero la sensibilità nel percepire lo stimolo tattile. Vengono limitati ad esempio dalla specifica area di contatto del corpo, dalla durata e dalla forma d'onda dello stimolo, dalla temperatura della pelle, dall'età dell'individuo (Deflorio et al., 2023, p. 531) ecc.

Il tatto può essere considerato simile alla vista in quanto permette di ottenere degli stimoli “diretti” riguardo alle relazioni spaziali e alle dimensioni di un oggetto; per questo rappresenta un modo per esplorare dimensioni e distanze, piuttosto che affidarsi alla trasposizione verbale, soggetta a interpretazioni ed errori (Tennison et al., 2020, p. 7:2).

Quella che si viene a creare è una cosiddetta immagine (mentale) spaziale, che supporta (statisticamente) le stesse funzionalità nell'apprendimento indipendentemente dai recettori che l'hanno percepita (Doore et al., 2023, p. 3).

D'altro canto, il tatto differisce dalla vista in termini di banda sensoriale. La vista, l'udito e il tatto possono essere caratterizzati dalla loro larghezza di banda sensoriale, che si riferisce alla velocità con cui le informazioni provenienti dai recettori possono essere trasmesse al cervello. La banda sensoriale, nel caso della vista, ha due componenti: la banda temporale e quella spaziale. Come riportato in un recente articolo di Manduchi & Kurniawan : “La larghezza di banda spaziale è il prodotto del numero totale di pixel risolvibili in ciascun occhio, che a sua volta è determinato dal campo visivo totale e dall'acuità visiva in ciascuna posizione retinica, e del numero di livelli sensibilmente diversi di luminosità e colore in ciascun pixel. La larghezza di banda temporale si riferisce alla velocità di elaborazione delle informazioni per ciascun pixel” (Manduchi & Kurniawan, 2018, p. 3).

Sempre Manduchi & Kurniawan (2018, p. 4) hanno comparato vista e tatto, in particolare cercando di capire se il tatto potesse permettere di ottenere le stesse informazioni rispetto ad una capacità visiva “offuscata”, con risoluzione ridotta, rilevando che in tal caso il tatto è funzionalmente comparabile alla vista.

In generale, non considerando casistiche particolari, si è dimostrato come la vista abbia una larghezza di banda spaziale 500 volte superiore al tatto (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:4). Ciò è dovuto al fatto che il tatto ha una risoluzione spaziale molto inferiore alla vista, ovvero ha un minor numero di punti distinguibili, in un dato momento, per una regione di spazio ben definita (Manduchi & Kurniawan, 2018, p. 5). La conseguenza è che mentre con la vista è possibile vedere “il tutto” di un determinato contenuto, con il tatto l’utente deve esplorare piccole sezioni e poi “ricostruirle” in modo da creare una rappresentazione mentale completa.

La grafica tattile tradizionale si compone di linee e punti in rilievo, mentre la grafica vibrotattile digitale viene mostrata su una superficie piana (quella del dispositivo touchscreen), con feedback vibrotattili; in questi due casi vengono stimolati recettori tattili diversi. Per questo motivo, non tutti gli studi precedentemente condotti per la grafica tattile tradizionale possono essere applicati alla grafica vibrotattile, ma ci si basa su una serie di studi recenti che si concentrano specificamente sull’esplorazione su dispositivi touchscreen general-purpose.

Queste linee guida hanno comunque origine dalle considerazioni appena discusse riguardo le similitudini e le differenze fra tatto e vista, che hanno importanti ripercussioni sugli aspetti percettivi e, di conseguenza, su quelli applicativi.

Il presente studio si basa, in particolare, sulle linee guida di progettazione di Gorlewicz (2020). Lo scopo è di convalidare alcune delle linee guida proposte e di cercare di aggiungere nuove raccomandazioni, empiricamente testate, a quelle esistenti.

3 Tecnologie per grafiche tattili

3.1 Definizione

Le grafiche tattili sono una rappresentazione di un contenuto in una forma che lo rende accessibile al tatto, in modo che gli utenti possano esplorarlo senza la vista (Dias et al., 2010, p. 1). Le immagini sono una parte importante nei testi scolastici in molti campi come le scienze, la matematica e la geografia. Inoltre, le piante schematiche e la segnaletica nelle strade rappresentano un altro esempio di come i contenuti visivi siano fondamentali per la vita delle persone nella società moderna (Bredmose et al., 2023, p. 139). Naturalmente, la natura di questi contenuti rappresenta un problema per individui ciechi o ipovedenti.

Le immagini tattili sono state progettate per garantire agli individui con problemi alla vista un modo per apprendere i contenuti visivi, spesso con una forma alternativa che possibilmente permetta di non perdere contenuti importanti.

Secondo uno studio storico di Eriksson del 2008, le prime immagini tattili risalgono al XIX secolo (Darras & Valente, 2010, p. 1). Queste immagini, che raffigurano una particolare fauna e flora, presentano gli elementi nella loro interezza, senza l’uso dello scorcio. Le immagini tattili sono accompagnate da testi in caratteri romani in rilievo (Darras & Valente, 2010, p. 1). Questi sono probabilm-

te i più antichi libri tattili mai realizzati; oggi istituzioni, musei e biblioteche specializzate progettano e producono grafica tattile per diversi settori, soprattutto per l'istruzione (Darras & Valente, 2010, p. 2).

Le immagini tattili sono realizzate con tecnologie molto diverse, ognuna con dei pro e dei contro e costi di produzione molto diversi; in generale, l'obiettivo è quello di fornire un insieme di forme in rilievo, linee e talvolta testo in Braille per rendere il contenuto accessibile al tatto.

3.2 Casi d'uso

Un'immagine tattile è un artefatto utilizzato al giorno d'oggi per trasmettere contenuti accessibili al tatto. Per questo motivo possiamo trovare diversi esempi di utilizzo in molti ambiti:

- per l'apprendimento di argomenti come la geografia, l'arte e la storia, dove le mappe sono importanti per comprendere le relazioni spaziali e le dimensioni degli oggetti;
- per imparare la matematica, le scienze, per esplorare grafici, curve e forme geometriche (Ladner et al., 2005, p. 150);
- per fornire un maggior coinvolgimento durante la lettura di una storia (con i libri per bambini, ad esempio) (Darras & Valente, 2010, p. 4);
- per insegnare la scrittura a mano alle persone non vedenti (Dias et al., 2010, p. 7);

- per imparare a muoversi in un edificio e conoscere le relazioni spaziali degli elementi d'interesse (porte, corridoi ecc.) presenti in un certo piano di un immobile.

La grafica tattile "tradizionale" è utilizzata da tempo e ha aiutato ciechi e ipovedenti nell'apprendere contenuti grafici in modo più rapido e migliore rispetto alla trascrizione verbale o testuale. Tuttavia, essa presenta diversi problemi e negli ultimi anni progettisti e ingegneri hanno cercato di trovare un modo per superarli con le tecnologie digitali.

3.3 Stato dell'arte

"Immagine tattile" è un termine ampio che comprende diverse tecniche, sia analogiche che digitali, utilizzate per creare immagini in rilievo su una particolare superficie, che può essere la plastica, la carta o anche il legno (Johnson et al., 2022, p. 1). Una prima distinzione possibile è tra tecniche analogiche e digitali. Le prime possono essere suddivise in stampi in plastica, immagini ad alto o basso rilievo e immagini in rilievo su carta.

Le tecniche digitali sono invece un insieme di tecniche più sperimentali e comprendono soluzioni molto diverse che possono essere suddivise in due grandi gruppi: soluzioni con hardware ad-hoc e soluzioni con hardware general-purpose.

3.3.1 Tecnologie analogiche

Gli stampi in plastica sono utilizzati nelle scuole e nei musei (Karaduman et al., 2023, p. 811) e sono ritenuti il modo migliore per comprendere le relazioni spaziali di un oggetto, in quanto consentono all'utente di toccare ogni parte del modello su una rappresentazione tridimensionale, ed è possibile ottenere un senso di profondità (Darras & Valente, 2010, p. 2). Inoltre, questi strumenti possono essere una rappresentazione in scala degli oggetti reali; gli utenti possono manipolarli e usare la percezione cinestesica per capire le relazioni spaziali usando il proprio corpo come riferimento per le dimensioni (Darras & Valente, 2010, p. 2). Negli ultimi anni si è rilevato un uso maggiore di modelli stampati con tecnologie di stampa 3D, dovuto probabilmente ad una diminuzione dei costi delle stampanti e dei materiali (Butler et al., 2021, p. 7).

Gli stampi ad alto e basso rilievo si pongono a metà (riguardo allo spessore del rilievo) tra le rappresentazioni tridimensionali in plastica e le soluzioni più tradizionali, come il rilievo su carta. Vengono utilizzati ad esempio nel mondo dell'arte, per esplorare dipinti in cui diverse sezioni sono create con un rilievo diverso per renderle facilmente riconoscibili. Una tecnica utilizzata a questo scopo è il termoform, che richiede una formazione specifica e un maggior supporto iniziale rispetto all'esplorare gli stampi in plastica "a tutto tondo" (Serrano-Mira et al., 2017, p. 811).

Le tecniche di rilievo tradizionali su carta e plastica, invece, sono i modi più utilizzati per fornire immagini tattili agli studenti e agli utenti non vedenti in generale. Ciò è possibile grazie ai costi per la produzione, che in genere risultano contenuti (Kouroupetroglou et al., 2016, p. 78; Serrano-Mira et al., 2017, p. 811).

Le tecniche analogiche variano in base al materiale utilizzato, all'altezza del rilievo, alla precisione della stampa e ad altri fattori. Le più comuni sono il gaufrage, la serigrafia e il collage (Ferdinando Auricchio et al., 2017, p. 739). Quest'ultimo è una tecnica in cui vengono utilizzati materiali diversi per rappresentare concetti diversi (De Rijke, 2018, p. 27). Le texture e i diversi tipi di ruvidità dei materiali sono utilizzate per dare all'utente un diverso senso di profondità (Fitzpatrick & McMullen, 2008, p. 220) e in certi casi una semantica, per creare un vocabolario mentale in cui ogni materiale è legato a un determinato concetto.

3.3.2 Tecnologie digitali

Le tecniche analogiche (e quindi le risorse analogiche) differiscono per diversi aspetti da quelle digitali.

Le differenze fondamentali fra le due tipologie sono che rispetto a quelle analogiche, le tecniche digitali sono interattive, comportano costi di produzione e di condivisione minori, e non vi è necessità di produrre una risorsa per ogni utente (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:2). Inoltre, gli artefatti analogici potrebbero essere danneggiati nel tempo.

Le tecnologie digitali possono superare questi limiti, ma possono introdurre altri problemi. Negli ultimi anni sono state prodotte diverse soluzioni innovative basate sul tatto, come le matrici di pin aggiornabili e il *force feedback* (Butler et al., 2021, p. 1). Poche soluzioni sono state adottate su larga scala (Butler et al., 2021, p. 2; Gorlewicz et al., 2020, p. 10:2); i motivi potrebbero essere i costi elevati (Butler et al., 2021, p. 9) e la necessità di utilizzare un

hardware aggiuntivo per l'utente (Tekli et al., 2018, p.4), visto che spesso i soggetti con disabilità visiva utilizzano già una serie di strumenti di accessibilità, il più delle volte con configurazioni personalizzate, create dopo anni di utilizzo (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:2). L'introduzione di nuovi dispositivi ad-hoc potrebbe creare una barriera in termini di accettazione da parte degli utenti. Come sottolineato in Tekli et al., 2018, molte delle tecniche sopracitate risultano costose, ad uso limitato e specifico per un particolare compito e con limitata portabilità (ogni dispositivo è complesso da configurare, per ogni utente, e a volte di difficile trasportabilità).

Quindi, sebbene alcune soluzioni abbiano mostrato notevoli miglioramenti passando dalla modalità analogica a quella digitale, i costi e le interfacce utente di queste ultime rappresentano ancora un problema per una ampia adozione.

3.4 Perché tecnologie digitali su dispositivi general-purpose

I dispositivi touchscreen di uso generale sono un termine ampio che comprende, tra gli altri, gli smartphone e i tablet. Entrambi questi dispositivi sono ampiamente utilizzati; stime recenti suggeriscono che negli Stati Uniti il 70-90% degli utenti ciechi e ipovedenti possiede uno smartphone (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:4). Ciò è giustificato anche dal fatto che questi dispositivi offrono un supporto all'accessibilità per le attività quotidiane come comunicare, telefonare e navigare nel Web. Rappresentano quindi sia una

tecnologia accettata e accessibile sia uno strumento che gli utenti conoscono bene (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:4).

I dispositivi touchscreen di uso comune hanno capacità di feedback multimodali, dai toni audio, alla sintesi vocale, alle vibrazioni. Sebbene le vibrazioni siano prodotte da un motore posizionato sul retro dello schermo e non da una fonte localizzata, la multimodalità guida l'utente nelle operazioni quotidiane combinando diversi feedback (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:4). Progettisti e sviluppatori possono collaborare per trovare il modo migliore di utilizzare questi strumenti, al fine di offrire agli utenti un'esperienza di apprendimento delle relazioni spaziali per grafiche digitali in due dimensioni.

Come già citato, dal 2012 diversi ricercatori stanno studiando il miglior modo per utilizzare i dispositivi touchscreen general-purpose e i feedback multimodali (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:3) per creare un sistema che possa superare i limiti delle soluzioni analogiche e delle soluzioni hardware ad-hoc.

L'approccio utilizzato in questo studio, oltre ad essere proposto dai suddetti ricercatori, è stato suggerito anche in altri studi, in particolare in Tekli et al., 2018, p.2 e in Doore et al., 2023. In questi studi è stata proposta non solo un'interfaccia per esplorare grafiche vibrotattili su dispositivi general-purpose, ma anche un'ecosistema software per creare e catalogare le grafiche. Ad oggi, però, non sono noti progetti sul mercato che prevedano queste caratteristiche, che rimangono al momento "confinati" in ambito accademico in forma di proposte e di studi sperimentali. Alcune eccezioni, presenti in numero esiguo, sono dettagliate nel capitolo seguente.

3.5 Limiti e problematiche attuali

Le risorse analogiche tattili sono costose da produrre, non sono interattive e richiedono personale qualificato e strumenti ad-hoc per la loro realizzazione. Le risorse digitali potrebbero superare tutte queste limitazioni, ma l'hardware ad-hoc è molto costoso da produrre e ciò non rende queste soluzioni delle reali opportunità di mercato per gli utenti con disabilità visiva (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:2). Pertanto, i dispositivi general-purpose rappresentano un futuro promettente per un uso diffuso della grafica tattile come risorsa interattiva e accessibile.

Analizzando il mercato attuale, emerge la mancanza di un prodotto che permetta l'esplorazione di immagini vibrotattili su dispositivi general-purpose. Quello che è stato realizzato in questa ricerca, come si vedrà nel dettaglio nel capitolo sei, è un'ecosistema completo che descrive come le grafiche devono essere create, recuperate da un catalogo ed infine esplorate. L'ecosistema è costituito da siti web e da un'app che permette l'esplorazione, ed è utilizzabile su dispositivi commerciali già noti ed usati dalla maggior parte degli utenti con disabilità visive.

Esistono dei prodotti che soddisfano alcuni dei requisiti specificati nel capitolo 1.3, e che si basano su principi simili a quelli descritti in questa ricerca. Di seguito verranno presentati i più interessanti.

Feelif (Feelif, n.d.), ad esempio, è un prodotto che permette l'esplorazione, per utenti ciechi e ipovedenti, di immagini e grafici, e inoltre di utilizzare app complesse (quali giochi, *Browser* web, strumenti per imparare il Braille ecc.) senza il supporto della visione.

Il dispositivo emette feedback di tipo acustico, parlato e vibrazioni. Il progetto comporta però dei vincoli molto stringenti che lo rendono, a mio avviso, un prodotto di nicchia.

Senza considerarne il costo di circa 2.000 euro (Feelif Creator, n.d.), il prodotto si differenzia da quello realizzato in questa ricerca poiché utilizza un dispositivo proprietario, con un supporto a forma di griglia sovrapposto allo schermo. Non è possibile avere dati sull'efficacia del prodotto a livello didattico; inoltre, sebbene utilizzi un dispositivo *touchscreen* tecnologicamente basato su *hardware* in commercio (come un qualsiasi tablet), non può questo essere considerato un dispositivo general-purpose "standard", poiché si basa su un sistema operativo (Android) modificato dall'azienda produttrice.

Oltre al costo iniziale, quindi, si ricade nella casistica in cui l'utente deve aggiungere un ulteriore dispositivo a quelli che già utilizza quotidianamente, senza considerare le complicità incombenti con il passare degli anni (il dispositivo diventerà inevitabilmente obsoleto, andrà sostituito o modificato con ulteriori costi, rivolgendosi necessariamente all'azienda produttrice).

Sfruttando invece l'*hardware* di un dispositivo già in possesso dall'utente (prodotto e aggiornato da aziende leader del mercato) e progettando soltanto il software, si evitano oneri e costi di mantenimento nel lungo periodo. Infine, dalla pagina dell'app sul *Marketplace* Android risulta che l'ultima versione è stata rilasciata nel 2019, ed è stato verificato che è impossibile installare l'app su un dispositivo rilasciato dal 2020 in poi (l'app risulta non compatibile con le versioni di Android 11 e successive).

Vital (Vital, n.d.) è invece un'applicazione che permette l'esplorazione di grafiche vibrotattili utilizzando vibrazioni e audio; si basa sugli stessi principi di questa ricerca, poiché può essere installata su dispositivi general-purpose. Permette il caricamento e l'esplorazione di grafiche vibrotattili, sfruttando una piattaforma proprietaria che permette anche la creazione delle grafiche.

Purtroppo l'applicazione presenta alcuni aspetti che non la rendono un'opzione per studenti ciechi o ipovedenti, perlomeno nelle scuole europee, nel 2024. Questo perché non sono chiari né i costi né la modalità di acquisto, e non è possibile installare l'applicazione al di fuori degli Stati Uniti. Inoltre, l'applicazione, a Febbraio 2024, risulta non aggiornata da Giugno 2019. Sebbene il progetto sembri quindi promettente e in linea con ciò che è stato realizzato in questa ricerca, il software pubblicamente risulta non aggiornato e non è possibile indagare ulteriormente sullo stato attuale del progetto.

Infine, si segnala la presenza di un'applicazione Web assistiva in ambito didattico. Audiofunctions.Web (Audiofunctions.Web, n.d.), realizzata dal Laboratorio Polin di Torino, è un'applicazione Web che permette l'esplorazione di curve di funzione. In una prima schermata introduttiva è possibile inserire l'espressione matematica che verrà poi disegnata a schermo. L'utente ipovedente o cieco può quindi muovere il mouse o le frecce della tastiera per "navigare", orizzontalmente, la forma della curva mostrata a schermo.

L'utente infatti muoverà un cursore che si sposta nel tracciato: ad ogni spostamento viene riprodotto un suono che cambia di frequenza in base all'andamento della curva (ad esempio il suono parte acuto e diventa più grave se la curva "scende" verso valori più piccoli). Questo tipo di interfaccia non sfrutta le vibrazioni ma i soli segnali acustici.

Purtroppo, sebbene promettente, lo sviluppo dell'applicativo sembra non aver ricevuto aggiornamenti dalla sua creazione, e a Febbraio 2024 non è possibile utilizzare l'applicazione web con successo da dispositivi mobile Apple; inoltre il progetto si limita all'uso di segnali acustici, a volte con frequenze elevate, cosa che potrebbe creare problemi nell'utilizzo in classe. Il progetto è pensato limitatamente all'esplorazione di curve di funzione, poiché la frequenza del suono cambia soltanto in base all'andamento della curva sull'asse delle ordinate del piano cartesiano; questo non rende possibile estenderne l'uso per esplorare figure con tracciato chiuso.

Si auspicano ulteriori sviluppi e studi per capire l'efficacia didattica del progetto e dell'interfaccia, che risulta, a mio avviso, di notevole interesse per lo specifico ambito. Va sottolineato, infine, che il software sviluppato in questa ricerca di Dottorato è utilizzabile sia su dispositivi Android che su dispositivi Apple; al contrario, oltre ai problemi evidenziati su iPhone per Audiofunctions.

Web, né Vital né Feelif risultano disponibili per i dispositivi Apple. Questo limita potenzialmente il bacino di utenti, poiché i dispositivi Apple sono adottati da numerosi utenti con disabilità visiva: secondo uno studio del 2017, su circa 260 utenti con disabilità visiva, oltre l'80% dei partecipanti utilizza un dispositivo Apple (Griffin-Shirley et al., 2017), il 7% un Android e il 13% circa dispositivi di entrambi i sistemi operativi.

Un'altra indagine del 2019 (WebAIM, 2019) riporta come su 1224 utenti, di cui circa il 76% con disabilità visiva, il 70% utilizza come dispositivo mobile principale un (Apple) iPhone.

Senza entrare nel merito degli aspetti commerciali, poiché il progetto creato per questo studio non è ancora in fase di vendita e non sono ancora chiare le modalità di commercializzazione, ciò che lo contraddistingue nel mercato attuale sono le seguenti caratteristiche:

- non richiede l'uso di dispositivi *hardware* dedicati, ma si può utilizzare su dispositivi già in uso e conosciuti dagli utenti
- è un progetto realizzato nel 2023, con tecnologie aggiornate rispetto agli standard di mercato
- è utilizzabile su smartphone e tablet Android e su dispositivi mobile Apple (iPhone)
- si basa su tecnologie note, garantendo interoperabilità con progetti di terze parti
- è un prodotto software: aggiornamenti e manutenzione da parte degli utenti sono limitate e da parte del produttore più agevoli rispetto a dover sostenere il mantenimento di un dispositivo fisico

- è facilmente estendibile ad altri casi d'uso, oltre alle curve di funzione utilizzate nella fase sperimentale dello studio
- il progetto sfrutta la multimodalità, questo permette l'uso di vibrazioni e segnali acustici e parlato, ma in situazioni particolari alcuni dei feedback possono essere disattivati (ad esempio in classe).

Quelle elencate rappresentano le principali novità che rendono il progetto unico, fra quelli pubblici o noti in letteratura, in questo specifico ambito.

Come già accennato nel capitolo 1.2, gli studi di Gorlewicz, Giudice e Palani hanno definito diverse linee guida di progettazione per l'esplorazione vibrotattile su smartphone e tablet, sulle quali questo progetto si basa. Ma gli stessi ricercatori hanno anche evidenziato alcuni limiti, come la necessità di una strategia di esplorazione diversa a seconda delle dimensioni dello schermo del dispositivo.

Se non viene utilizzata alcuna strategia, l'esplorazione si limita a grafiche relativamente semplici, o risulta necessario utilizzare un dispositivo di dimensioni maggiori. Sebbene precedenti articoli abbiano evidenziato la buona accuratezza del riconoscimento delle figure, da parte degli utenti che utilizzano tecniche di *zoom* e *pan* per esplorare grafiche tattili complesse (H. P. Palani & Giudice, 2017, p. 9:20), nella mia esperienza durante gli esperimenti pre-pilota non sono stati ottenuti dei risultati soddisfacenti rispetto all'accuratezza del riconoscimento e alla piacevolezza d'uso per l'utente finale.

Ho deciso quindi di indagare ulteriormente le linee guida presenti ed eventualmente di contribuire estendendole con l'introduzione di feedback aggiuntivi. Uno degli obiettivi di questa ricerca è quello di migliorare questa base di conoscenza e i principi di progettazione introducendo il feedback di sintesi vocale.

Questo potrebbe aiutare gli utenti a esplorare le grafiche con maggiori indicazioni, potenzialmente per apprendere in modo migliore concetti grafici in ambiti quali la matematica, la geografia e la geometria.

4 Integrare la sintesi vocale

L'integrazione della sintesi vocale è nata da un percorso iniziato con la realizzazione del prototipo software e i successivi test con soggetti vedenti e non vedenti. Sono state effettuate delle scelte evolutive considerando i feedback ottenuti dagli utenti. L'obiettivo principale della ricerca non è però cambiato nel tempo: si vuole integrare la sintesi vocale e valutare il miglioramento riguardo l'accuratezza del riconoscimento delle figure e la preferenza utente.

Con questi macro-obiettivi, ho analizzato lo stato dell'arte e le ricerche pregresse per capire come risolvere i problemi specifici incontrati nel prototipo da me realizzato – progettato seguendo le regole definite in “Design Guidelines and Recommendations for Multimodal, Touchscreen-based Graphics” (Gorlewicz et al., 2020). In questo capitolo verrà trattato il percorso che ha portato al disegno sperimentale e al conseguente esperimento principale della ricerca.

4.1 Ipotesi

L'ipotesi principale della ricerca è che introducendo la sintesi vocale come guida assieme al feedback della vibrazione, l'accuratezza del riconoscimento delle figure migliori rispetto all'utilizzo della vibrazione con segnali acustici. Inoltre, un'altra ipotesi è che migliori anche la preferenza utente, in accordo con i risultati già

ottenuti in letteratura secondo cui l'utente cieco in genere preferisce avere più informazioni rispetto ad averne meno, durante l'utilizzo di un'interfaccia utente (Tennison & Gorlewicz, 2019, p. 6:16).

Si vuole inoltre indagare se la presenza di un feedback sonoro che indichi la posizione dell'utente in una zona di "spazio bianco" dell'interfaccia garantisca una preferenza utente maggiore, per la tecnica di feedback utilizzata assieme ad essa (ovvero, se introdurre la tecnica dello "spazio bianco" migliori, soggettivamente, l'esperienza esplorativa).

4.2 Disegno sperimentale

Il disegno sperimentale definitivo, presentato in questo capitolo, è il risultato di diversi passaggi progettuali che hanno subito variazioni a seguito di confronti con docenti, tecnici e studenti dell'Istituto dei Ciechi Cavazza di Bologna durante gli esperimenti preliminari e pilota.

Il disegno sperimentale è andato di pari passo con la modifica dell'interfaccia e dei feedback presentati all'utente durante l'esplorazione. Prima di entrare nel dettaglio, è utile fornire una panoramica riguardo ai feedback presenti nel prototipo.

In particolare, di seguito viene descritta la tecnica LT, ovvero la tecnica originale che introduce la sintesi vocale (assieme alla vibrazione).

Il primo punto di interesse che l'utente cerca durante l'esplorazione è il punto iniziale della curva, il quale viene segnalato dalla sintesi vocale che legge "inizio". Allo stesso modo, viene segnalato con la lettura di "fine" il punto finale della curva, che sancisce la fine dell'esplorazione.

Inoltre, sono presenti altri feedback vocali:

- la lettura di "cambio di direzione" in determinati punti della figura: vale la pena esplicitare questo concetto. Il "cambio di direzione" è innanzitutto un concetto che ha senso per determinate figure (ad esempio nelle figure geometriche sarebbe più corretto usare la nomenclatura tecnica "vertice", quando presente). Ed è un concetto non legato ad un significato matematico; viene assegnato dal redattore (o in generale da chi crea la TGs), in fase di disegno della figura, anche in base all'obiettivo pedagogico o informativo. Il cambio di direzione è da intendersi come un punto nel quale una porzione del tracciato della figura, con un andamento tendente al rettilineo, cambia direzione, creando un certo angolo tra la porzione precedente e successiva. Nella pratica è un punto – nei casi in esame, di una curva – in cui il redattore decide che segnalare con un feedback vocale un "cambiamento di direzione" può aiutare l'utente nel seguire il tracciato. In casi in cui la curva sia simile ad una serie di "spezzate", determinare i cambi di direzione risulta molto semplice. Negli altri casi sta al redattore capire se l'andamento della curva richiede l'aggiunta di questo feedback in certi punti. È consigliata una co-progettazione con utenti non vedenti e delle fasi di test per ottimizzare la realizzazione di TGs e il posizionamento dei vari feedback;

- la lettura di “punto di massimo” e di “punto di minimo” rispettivamente nei punti di massimo e di minimo assoluti della curva. Questi guidano l’utente nei seguenti modi: dopo un punto di massimo, esplorando da sinistra a destra, la curva continuerà sempre più in basso rispetto a tale punto. Viceversa, per un punto di minimo, la curva “salirà” (o “crescerà”) da tale punto in poi.

Per la tecnica LA invece, nella quale sono presenti i feedback vibrotattile e acustico, viene emesso sempre lo stesso suono per ogni cambio di direzione; i punti di inizio e di fine vengono comunque letti con la sintesi vocale.

I feedback sono rappresentati anche graficamente con dei simboli, per supportare utenti ipovedenti, tutori o collaboratori dell’utente non vedente.

È importante sottolineare che i simboli di punto di minimo e di massimo non vengono segnalati, se presenti, per la tecnica LA. Gli altri simboli vengono segnalati da entrambe le tecniche, in modo diverso (si veda la **Tabella 1**). L’utilizzo di una tecnica piuttosto che un’altra viene deciso in fase di configurazione del software.

Punto di interesse	Tecnica LA	Tecnica LT	Simbolo
Inizio curva	Letture: “Inizio”	Letture: “Inizio”	
Fine Curva	Letture: “Fine”	Letture: “Fine”	
Cambio direzione	Suono acustico	Letture: “Cambio direzione”	
Punto di minimo		Letture: “Punto di minimo”	- - -
Punto di massimo		Letture: “Punto di massimo”	+ + +
Profilo della linea	Vibrazione	Vibrazione	

Tabella 1

Simboli grafici che identificano i punti di interesse nelle curve, nelle tecniche LA e LT.

Nella figura seguente (**Figura 1**) è mostrato l'utilizzo dei feedback di inizio curva, fine curva, e il simbolo per segnalare il "punto di minimo" assoluto della curva. A fianco alla curva è possibile notare la legenda dei simboli, alcuni dei quali non ancora utilizzati nel progetto in corso di sviluppo. Vista la presenza del simbolo "punto di minimo", questa curva rappresenta una casistica della tecnica LT.

Nella **Figura 2**, rappresentante un'espressione matematica (il cui testo è visibile nell'immagine), sono stati usati i feedback di "cam-

bio di direzione"; sono i due simboli che si trovano all'incirca a metà del profilo della curva. Questi, assieme ai feedback di inizio e fine curva, forniscono un esempio della casistica della tecnica "LA", tecnica di controllo nella quale non è usata la sintesi vocale se non per segnalare i punti terminali della curva.

La stessa figura, con gli stessi simboli, può essere esplorata anche con la tecnica LT: in questo caso, i "cambi di direzione" verrebbero letti dalla sintesi vocale.

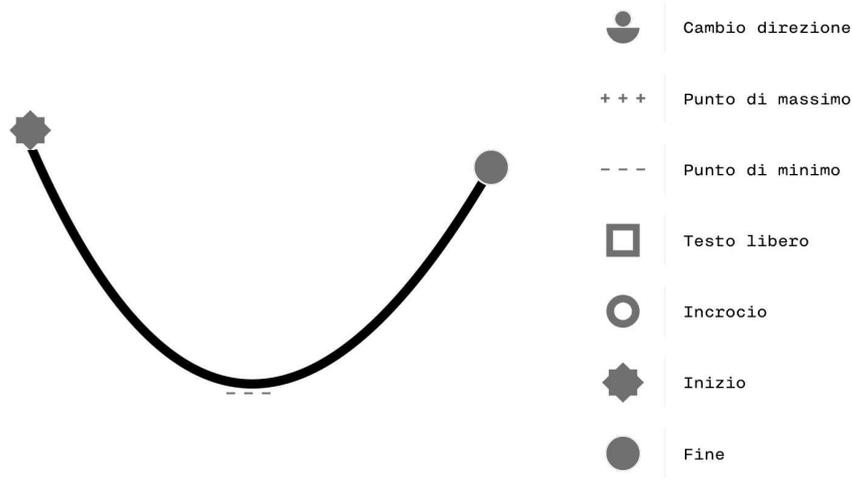


Figura 1
Esempio di figura da esplorare con tecnica LT.

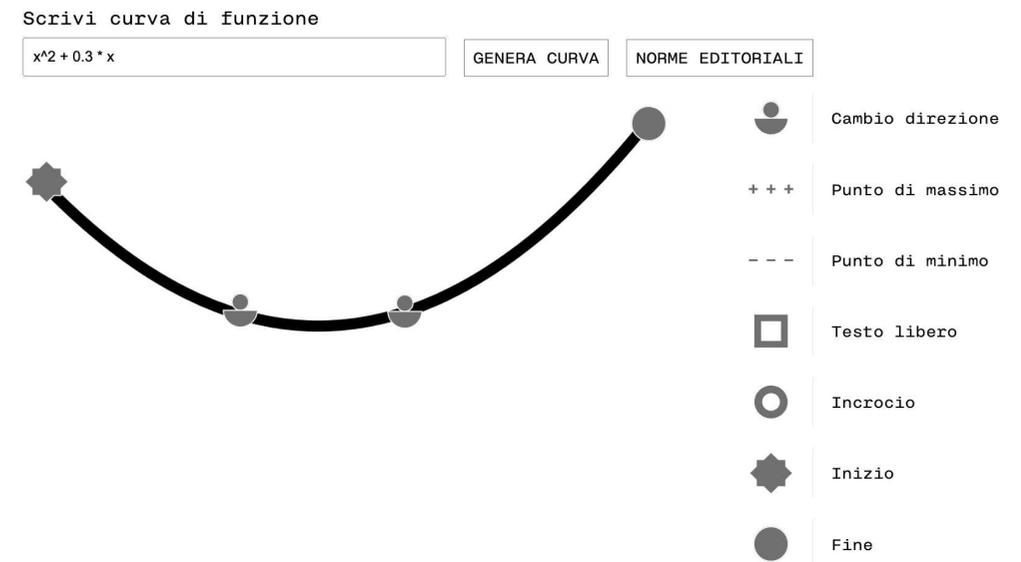


Figura 2
Esempio di figura da esplorare con tecnica LA.

In **Figura 3**, infine, si può notare un'altra possibile curva per la casistica LT, poiché è presente il simbolo di “punto di massimo”. Il simbolo di cambio di direzione, in questo caso, viene segnalato dalla sintesi vocale che leggerà “cambio di direzione”.

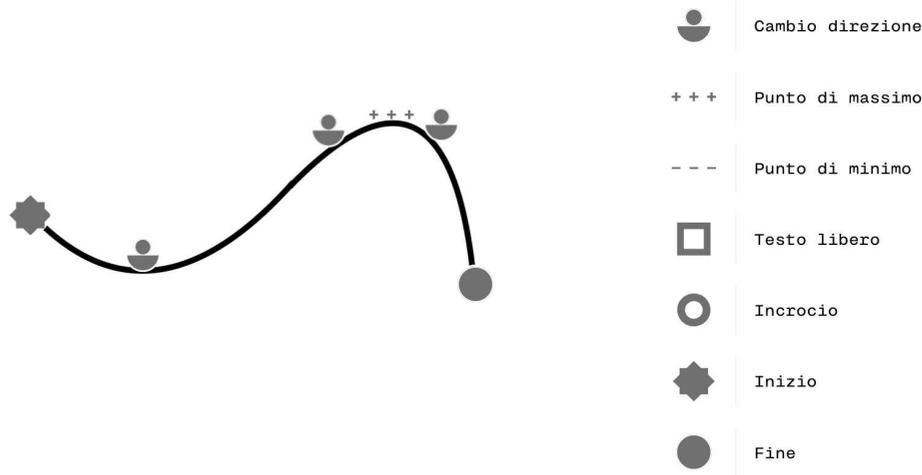


Figura 3
Esempio di figura da esplorare con tecnica LT.

Ai fini di una progettazione volta alla migliore esplorazione possibile per l'utente, potrebbe aver senso inserire la segnalazione di punti di massimo e di minimo: informazioni assolute, specifiche e con un valore matematico ben definito.

Per curve complesse, potrebbero non risultare sufficienti come unica guida durante l'esplorazione, la quale beneficerebbe dell'integrazione dei “generici” cambi di direzione. Al progettista di figure vibrotattili è affidato il compito di capire quanti e quali feedback assegnare, possibilmente supportato da verifiche iterative con utenti ipovedenti o ciechi.

4.2.1 Verso il disegno sperimentale

Il disegno sperimentale definitivo è stato realizzato con il contributo di diversi ricercatori e professori, fra cui il Prof. Sinico (Università IUAV di Venezia), il Prof. Ciammaichella (Università IUAV di Venezia), il Prof. Perondi (Università IUAV di Venezia) e il Prof. Bernardis (Università degli Studi di Trieste).

Il disegno è stato modificato dopo l'esperimento pilota e conseguentemente anche dopo l'esperimento finale.

4.2.1.1 Prima versione

L'idea iniziale era di avere due casistiche dove venivano incrociate le tecniche L0, LA e Z1.

- L0, tecnica di controllo, solo vibrazioni previste
- LA, previste vibrazioni ed un segnale acustico per i cambi di direzione
- Z1, la tecnica che permetteva il *pan* dello schermo.

L'obiettivo originario era di valutare se l'aggiunta di un segnale acustico nei cambi di direzione (tecnica LA) potesse migliorare il riconoscimento di linee curve durante l'utilizzo della tecnica di *pan* (Z1).

Incrociando le tecniche di tipo “L” (con vibrazioni) con la tecnica Z1, si ottenevano le casistiche da testare con gli utenti. Non era quindi presente nessun tipo di feedback vocale come supporto all'esplorazione, se non nei punti di inizio e di fine della curva.

La tecnica “LB” documentata in letteratura, la quale introduce suoni diversi a seconda dei punti importanti di una curva (indicando non solo genericamente i cambi di direzione) venne omessa per

evitare di complicare troppo il disegno sperimentale: da studi pregressi non sono state evidenziate differenze significative con la tecnica LA per la “*deviation from line*” (scostamento dalla linea originale), metrica usata principalmente per misurare l’accuratezza del riconoscimento della linea. Dalla letteratura, entrambe le tecniche LA e LB sono risultate paragonabili per efficacia di riconoscimento; allo stesso modo non sono risultate differenze interessanti riguardo la preferenza utente. La tecnica LB è stata preferita alla tecnica LA (45% contro il 33% di preferenze) ma è anche risultata più complessa (Tennison & Gorlewicz, 2019, p. 6:15), considerazione che mi ha fatto propendere verso l’utilizzo della sola tecnica LA visto l’incrocio, nel mio esperimento, con la tecnica Z1 per il *pan*.

Disegno Sperimentale: prima versione

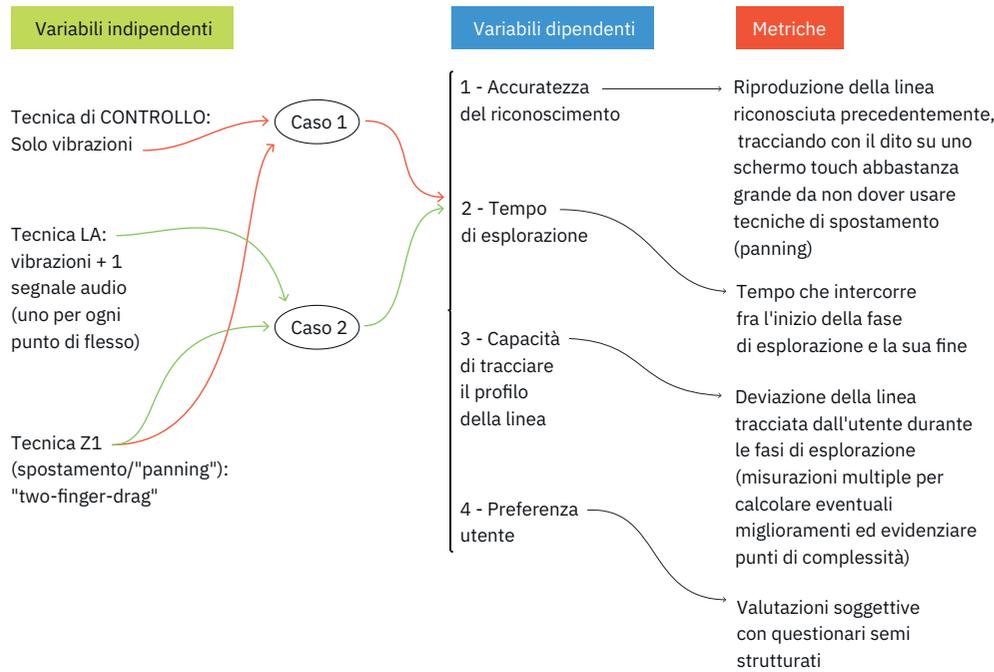


Figura 4
Prima versione del disegno sperimentale.

Design dell'esperimento

- Legenda:**
- SoggN (soggetto esperimento)
 - PreQ (questionario preliminare)
 - PostQ (questionario post esperimento, per valutare var. dip. 4)
 - Tr (training)
 - L0 (tecnica di controllo)
 - LA (tecnica da testare)
 - a,b = TGs (grafiche tattili da esplorare)
 - LXn = Usare tecnica "LX" per esplorare la grafica tattile "n" Obs = Osservazione: comprende misurazione delle var.dipendenti 1,2,3 (la doppia osservazione è volta a misurare la var. dip. 3)

- Note:**
- "within-subjects" design
 - condizioni bilanciate fra i partecipanti
 - TGs da testare bilanciate se i partecipanti sono in numero multiplo di 4, altrimenti casualmente assegnate
 - come leggere la tabella: da sinistra verso destra la linea temporale, in colonna i vari soggetti dell'esperimento

- Variabili Dipendenti**
- 1 - Accuratezza del riconoscimento
 - 2 - Tempo di esplorazione
 - 3 - Capacità di tracciare il profilo della linea
 - 4 - Preferenza utente

Sogg1	PreQ	Tr	L0a	Obs	L0a	Obs	L0b	Obs	L0b	Obs	PostQ
Sogg2	PreQ	Tr	L0a	Obs	L0a	Obs	LAb	Obs	LAb	Obs	PostQ
Sogg3	PreQ	Tr	LAb	Obs	LAb	Obs	L0a	Obs	L0a	Obs	PostQ
Sogg4	PreQ	Tr	L0b	Obs	L0b	Obs	L0a	Obs	L0a	Obs	PostQ
Sogg5...N	PreQ	Tr	LXx	Obs	LXx	Obs	LXx	Obs	LXx	Obs	PostQ

————— T —————>

Figura 5
Prima versione della struttura dell'esperimento.

I primi test con utenti vedenti ma bendati hanno evidenziato come la validità interna del disegno fosse compromessa dai risultati non soddisfacenti per la tecnica Z1 di *pan*, tecnica precedentemente validata in studi pregressi. Tutti gli utenti hanno trovato difficoltà nell'effettuare il *pan*, anche se concettualmente ne era stato compreso l'utilizzo. Il problema, a mio avviso, risiede nel fatto di non avere un feedback visivo sulla porzione di schermo spostata, ma soltanto un feedback acustico che indica che lo spostamento è in atto; questo comporta il doversi creare con le dita un proprio siste-

ma di riferimento per ritrovare il punto da cui si era partiti, prima del *pan*. Questo tipo di attività rende l'esplorazione poco naturale, complessa e secondo gli utenti può portare facilmente a perdere l'orientamento riguardo alla posizione del dito sullo schermo, rispetto all'immagine esplorata.

Ciò ha portato a rivedere il disegno sperimentale e ad introdurre una nuova tecnica per esplorare TGs che si estendono oltre la superficie del dispositivo.

4.2.1.2 Versione con passaggio di sezioni

La nuova tecnica originale, denominata "SP" e progettata assieme all'architetto Fabio Fornasari, prevedeva il passaggio di "sezioni" in una TGs; le sezioni sono la porzione visibile nello schermo del dispositivo, ogni sezione ha la stessa dimensione, e componendo tutte le sezioni in sequenza (da sinistra verso destra) si ottiene la figura completa. L'idea è che l'utente possa spostarsi fra le sezioni con una *gesture* a tre dita di tipo "swipe", simile al voltare pagina in un libro *e-book* digitale. Questa tecnica originale non validata ha necessitato di una verifica sperimentale.

La nuova tecnica non avrebbe previsto l'introduzione di segnali acustici come invece lo prevedeva la tecnica precedente, con un suono costante durante il *pan*. Questo permetteva, ragionevolmente, di non aggiungere complessità all'aspetto uditivo dell'interfaccia. Ciò ha permesso di sperimentare la tecnica SP con una sola tecnica per l'esplorazione di linee TGs, ovvero la già citata LA. Il disegno sperimentale quindi era volto alla validazione della tecnica originale SP: le due casistiche presenti prevedevano una l'incrocio tra SP e LA, l'altra l'incrocio fra LA e una tecnica LO di controllo dove non veniva usata la tecnica originale SP.

Disegno Sperimentale: seconda versione

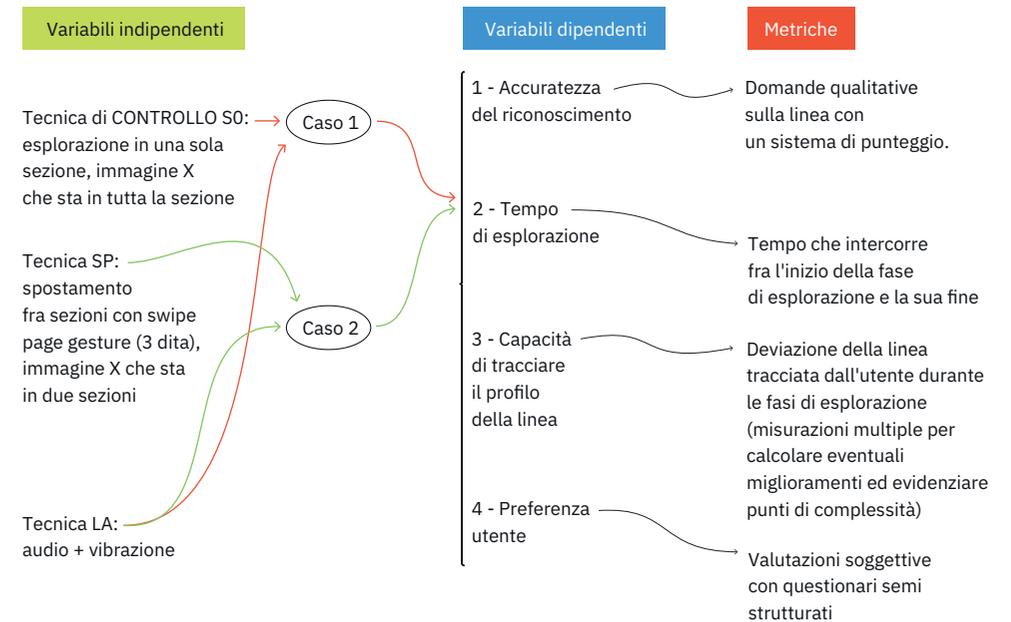


Figura 6

Seconda versione del disegno sperimentale.

Design dell'esperimento

Legenda:

- SoggN (soggetto esperimento)
- PreQ (questionario preliminare)
- PostQ (questionario post esperimento, per valutare var. dip. 4)
- Tr (training)
- S0 (tecnica di controllo)
- SP (tecnica da testare)
- a,b = TGs (grafiche tattili da esplorare)
- SXn = Usare tecnica "SX" per esplorare la grafica tattile "n"
- Obs = Osservazione: comprende misurazione delle var.dipendenti 1,2,3 (la doppia osservazione è volta a misurare la var. dip. 3)

Note:

- "within-subjects" design
- condizioni bilanciate fra i partecipanti
- TGs da testare bilanciate se i partecipanti sono in numero multiplo di 4, altrimenti casualmente assegnate
- come leggere la tabella: da sinistra verso destra la linea temporale, in colonna i vari soggetti dell'esperimento

Variabili Dipendenti

- 1 - Accuratezza del riconoscimento
- 2 - Tempo di esplorazione
- 3 - Capacità di tracciare il profilo della linea
- 4 - Preferenza utente

Sogg1	PreQ	Tr	SPa	Obs	SPa	Obs	S0b	Obs	S0b	Obs	PostQ
Sogg2	PreQ	Tr	S0a	Obs	S0a	Obs	SPb	Obs	SPb	Obs	PostQ
Sogg3	PreQ	Tr	SPb	Obs	SPb	Obs	S0a	Obs	S0a	Obs	PostQ
Sogg4	PreQ	Tr	S0b	Obs	S0b	Obs	SPa	Obs	SPa	Obs	PostQ
Sogg5...N	PreQ	Tr	SXx	Obs	SXx	Obs	SXx	Obs	SXx	Obs	PostQ

————— T —————→

Figura 7

Seconda versione della struttura dell'esperimento.

Purtroppo, i primi test svolti con gli utenti hanno evidenziato come anche questa tecnica di tipo "swipe", così come il *pan*, rendesse molto complicata l'interfaccia. La *gesture* che attiva il passaggio di sezione non è complessa da apprendere ma va a complicare un sistema di interazione già basato totalmente su "swipe". Il movimento del dito sullo schermo è anch'esso continuativo nel seguire la traccia delle figure, e questo comporta un possibile problema di sovrapposizione dei feedback.

Inoltre, secondo gli utenti, non è semplice riprendere la posizione esatta in cui si era rimasti prima del cambio di sezione: questo spesso ha portato a pensare che la linea cambiasse direzione durante il cambio pagina, poiché si ricominciava da un punto più alto o più basso rispetto a quello originale – venivano immaginati degli "scalini" quando in realtà la linea, in quel tratto, era "continua". Questo tipo di problematica è cruciale per uno strumento che ha come fine l'accuratezza del riconoscimento delle figure.

Ho così deciso di interrompere questa strada, volta a migliorare l'esplorazione di figure che si estendono oltre la superficie dello schermo del dispositivo, per concentrarmi su figure che risiedono interamente in esso. Questa scelta è stata guidata dal fatto che gli utenti, in entrambe le versioni dell'interfaccia, hanno comunque evidenziato problemi nel seguire il profilo della curva presente nello schermo, al di là delle difficoltà nello spostarsi in porzioni successive.

Questo tipo di scelta ha portato a ricercare quali fossero i problemi principali nell'esplorazione (i cambi di direzione nelle linee) e di introdurre quindi una nuova tecnica con un feedback aggiuntivo, non ancora indagato in letteratura – poiché i buoni risultati non ne giustificavano l'utilizzo (Tennison & Gorlewicz, 2019, p. 6:17) – ovvero la sintesi vocale.

Come per i segnali acustici semantici (Tennison & Gorlewicz, 2019, p. 6:12), l'introduzione della sintesi vocale necessita di una progettazione volta a fornire all'utente dei riferimenti assoluti, oggettivi e quindi non soggetti a interpretazione.

4.2.1.3 Versione definitiva

La versione definitiva del disegno sperimentale è stata usata come base per l'esperimento principale della ricerca: sono state effettuate dagli utenti esplorazioni sia con la tecnica con sintesi vocale (LT) che con la tecnica con segnali acustici (LA).

Concluso l'esperimento, in una prima fase di pulizia e di normalizzazione dei dati, si è notato come i punti dati dal tracciamento durante le esplorazioni non fossero affidabili per realizzare un'analisi statistica. In particolare, alcuni tracciamenti risultavano carenti di un numero sufficiente di dati, mentre altri tracciamenti erano formati da un numero di punti molto alto; graficando i punti si otteneva un insieme di linee molto caotico, dato dai continui movimenti degli utenti, soprattutto nelle prime fasi dell'esplorazione.

Per misurare la capacità di tracciare il profilo della linea, il procedimento previsto era, schematicamente:

- creare un riferimento “ottimo” tracciando la linea guardando lo schermo;
- registrare il tracciamento dell'utente con una certa tecnica e figura;
- registrare il secondo tracciamento dell'utente nella stessa condizione;
- ottenere, con una regressione bidimensionale, il valore di regressione r^2 (Carbon, 2013, p. 3) fra i due tracciamenti con il riferimento;
- valutare l'ipotesi: il secondo valore di regressione sarebbe dovuto risultare minore rispetto al primo, ovvero la seconda esplorazione avrebbe dovuto discostarsi meno

dal riferimento rispetto alla prima esplorazione. Da qui l'indicazione che l'utente inizia a conoscere lo strumento discostandosi meno dalla linea durante l'esplorazione.

La maggior parte dei dati di tracciamento, però, ricadeva appunto nella casistica con pochi punti registrati rispetto ai “contatti” realmente effettuati con lo schermo: analizzando questi dati si avrebbe avuto un alto valore di regressione, che però avrebbe indicato erroneamente una similitudine molto alta con il tracciamento indicato come “ottimo”. Si è così deciso di non considerare questi dati ed eliminare di conseguenza una variabile dipendente dal disegno, appunto la capacità di tracciare il profilo della linea.

Un'altra motivazione a favore di questa scelta è stata data dal limite dell'aver due tracciamenti puntuali, per ogni casistica di esplorazione, da intendere come “prima” e “seconda” esplorazione. Durante gli esperimenti, gli utenti hanno spesso ri-esplorato le curve, anche durante la fase di risposta alle domande poste per l'accuratezza del riconoscimento. Ciò era permesso dalle “regole” previste nell'esperimento (regole ereditate da studi pregressi già citati), poiché gli utenti sono stati lasciati liberi di rispondere alle domande solo quando pronti, ma ha complicato la decisione – anche in presenza, idealmente, di tracciamenti con dati validi – su quale tracciamento fosse da considerare “definitivo” per una certa esplorazione.

In generale, ho personalmente notato in ogni casistica di ogni soggetto un miglioramento nella seconda esplorazione. Questo è ragionevole e in un certo senso prevedibile, poiché l'utente non solo comprende maggiormente lo strumento con tentativi successivi,

ma anche perché entra in gioco l'aspetto mnemonico: l'utente ha già in mente una prima versione indicativa della curva, e le successive esplorazioni sono inevitabilmente guidate da tale aspetto.

Date le suddette modifiche, si è ottenuto il disegno sperimentale definitivo mostrato in **Figura 8**, la quale riassume le variabili dipendenti, indipendenti e le metriche.

Disegno Sperimentale definitivo

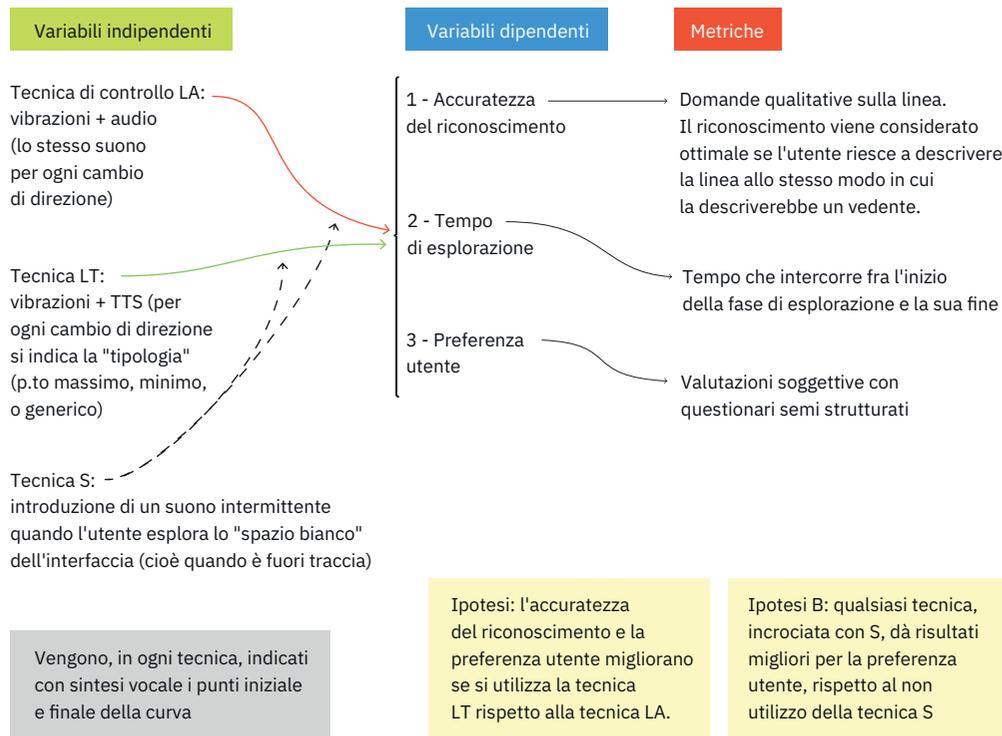


Figura 8
Disegno sperimentale nella versione definitiva.

4.2.2 Variabili indipendenti

Le variabili indipendenti del disegno sperimentale definitivo sono le seguenti:

- **tecnica LA (di controllo):** una tecnica che prevede l'utilizzo di vibrazioni e segnali acustici (lo stesso suono per ogni punto di interesse);
- **tecnica LT:** una tecnica che prevede l'utilizzo di vibrazioni e sintesi vocale, con la lettura di informazioni riguardo ai cambi di direzione (vengono letti "cambio di direzione", "punto di massimo" e "punto di minimo", questi ultimi due riferiti al contesto assoluto);
- **tecnica S:** una tecnica che introduce un suono di breve durata e bassa frequenza, riprodotto quando l'utente esplora una zona dove non è presente la figura (ovvero lo "spazio bianco").

Nel capitolo cinque è dettagliata la tecnica S e la motivazione per cui è stata introdotta nello studio.

Per completezza, si aggiunge che sia la tecnica LA sia la tecnica LT prevedono, come già anticipato, la lettura con sintesi vocale dei punti di inizio e fine della curva, per segnalare all'utente dove inizia la curva e quando ha concluso l'esplorazione.

Rielaborando in termini di tecniche le ipotesi dell'esperimento, possiamo riassumere come segue: che l'accuratezza del riconoscimento delle figure e la preferenza utente migliorino utilizzando la tecnica LT rispetto alla tecnica LA, e che qualsiasi tecnica, incrociata con S, dia risultati migliori per la preferenza utente, rispetto al non utilizzo con S.

4.2.3 Variabili dipendenti

Le variabili indipendenti vengono incrociate fra loro in questo modo: la tecnica LA, assieme alla tecnica S (o senza di essa) e la tecnica LT assieme alla tecnica S (o senza di essa). Questi incroci rappresentano delle casistiche; ognuna di queste casistiche viene testata con gli utenti e viene valorizzata ogni variabile dipendente.

Le variabili dipendenti sono tre:

- accuratezza del riconoscimento: rappresenta quanto l'utente ha compreso il profilo generale della figura esplorata;
- tempo di esplorazione: indica il tempo trascorso fra l'inizio e la fine dell'esplorazione;
- preferenza utente: indica la preferenza dell'utente riguardo la casistica in oggetto.

4.2.4 Metriche

Per misurare le variabili dipendenti sono state utilizzate tre metriche, una per ciascuna variabile. Le metriche sono state decise dopo un confronto con diversi professori ed esperti di settore fra cui il Prof. Bernardis, il Prof. Perondi e il Prof. Giudice (The University of Maine). Dopo una serie di prove negli esperimenti, valutando le possibilità di analizzare i dati con strumenti statistici o meno, sono state definite le metriche come segue.

Per valutare l'accuratezza del riconoscimento, è stato usato un questionario che permette all'esaminatore di capire se è stato

compreso il profilo generale della figura esplorata. Il questionario comprende le seguenti domande:

- quanti cambi di direzione sono presenti nella curva?
- il punto iniziale si trova più in alto o più in basso rispetto al punto finale?
- descrivere, segmento per segmento, l'andamento della curva. I segmenti sono da intendersi in questo modo: punto iniziale, primo cambio di direzione, secondo cambio di direzione ecc.
- ordinare in modo crescente i segmenti della curva in base alla loro lunghezza.

L'utente può esplorare la figura più volte durante il questionario, non essendo la memoria oggetto di indagine.

Per analizzare statisticamente i dati, inizialmente di tipo qualitativo, si è proceduto con la raccolta di un insieme di dati da un campione di soggetti vedenti. Il campione è composto da 16 soggetti.

È stato presentato un questionario con le stesse domande rivolte ai soggetti non vedenti, presentando di volta in volta le stesse tre figure, con l'obiettivo di raccogliere dei dati da usare come riferimento "ottimo"; le due distribuzioni statistiche (dati ottimali e dati da soggetti non vedenti) sono state poi confrontate.

Ciò è stato necessario a garantire un riferimento che considerasse anche la possibile soggettività e ambiguità di alcune risposte. Ad esempio, alla domanda "il punto finale si trova più in alto o più in basso rispetto al punto iniziale?" i soggetti hanno sì dato una ri-

sposta selezionata fra un insieme limitato di opzioni, ma allo stesso tempo tale risposta potrebbe avere dei connotati soggettivi che non possono essere ignorati: il soggetto ha risposto alla domanda sulla curva in relazione alle altre curve, o in modo assoluto? Inoltre, riguardo ad una domanda sulla distanza “ottica” tra due punti vicini, la risposta più corretta sarebbe che “X è leggermente più in alto/più in basso di Y” oppure che “X è all’incirca allo stesso livello di Y?”.

L’obiettivo della ricerca, come già sottolineato, non è quello di capire se il soggetto non vedente con tale prototipo riesca a rispondere alle domande in modo metricamente corretto, quanto che sia in grado di comprendere il profilo generale della figura. In altre parole, che riesca a rispondere alle domande come risponderebbe un vedente che può vedere la stessa figura. In questo caso è più interessante analizzare l’accuratezza del riconoscimento a livello “ottico” piuttosto che a livello metrico.

È certo possibile aggiungere un livello di funzionalità applicativo per rendere più precisa la misurazione delle distanze durante l’esplorazione. In fase di definizione degli aspetti applicativi, in futuro, sarà possibile arricchire il prototipo con strumenti quali feedback per simulare il piano cartesiano e la segnalazione dei valori delle ascisse e delle ordinate sul piano. Per questa progettazione, si rimanda al capitolo 6.5.1.

Per ciò che riguarda l’altra metrica, il tempo di esplorazione, essa è stata misurata calcolando il tempo che intercorre fra l’inizio e la fine dell’esplorazione.

La preferenza utente, infine, è stata valutata con un questionario di tipo qualitativo, con domande molto semplici volte a indagare la

preferenza soggettiva dell’interfaccia: “cosa ti è piaciuto di questo strumento”, “cosa miglioreresti”, “cosa non ti è piaciuto”.

Sono state rivolte anche delle domande puntuali riguardo alla preferenza delle tecniche LA, LT oppure riguardo l’uso della tecnica S contro il non utilizzo della tecnica S. Di tali valori è poi stata ricavata la media matematica e la deviazione standard.

4.3 Esperimento pilota

L’esperimento pilota ha avuto luogo il 10 Maggio 2022 presso l’Istituto dei Ciechi Cavazza di Bologna. I tre soggetti partecipanti hanno aderito al consenso del trattamento dei dati e si sono sottoposti ai test tramite un prototipo software installato in un dispositivo tablet Android.

L’esperimento aveva come obiettivi la raccolta di informazioni riguardo l’interfaccia utente, il software realizzato (facilità d’utilizzo, efficacia nella raccolta dei dati di tracciamento) e la raccolta di dati riguardo le preferenze utente e suggerimenti generali sul progetto.

I tre soggetti avevano tutti una disabilità visiva grave, due dei quali ipovedenti, in grado di distinguere soltanto ombre. Purtroppo, per un’incomprensione, inizialmente uno dei tre soggetti ha svolto il test osservando lo schermo e riuscendo a distinguere il profilo della linea, per questo alcuni risultati sono stati considerati per la preferenza utente ma non è stato possibile ritenere valida l’esplorazione per valutare l’accuratezza del riconoscimento. Gli altri due test, invece, sono stati eseguiti senza alcun tipo di difficoltà. I

soggetti, di un'età compresa fra i 15 e i 28 anni, avevano tutti una buona esperienza tattile data da un uso quasi giornaliero del Braille sin dalla scuola primaria ed una conoscenza delle immagini tattili. A parte un soggetto, gli altri due non hanno avuto esperienza nell'uso di tablet ma solo di smartphone. Tutte le esplorazioni sono state svolte in circa un minuto. I soggetti hanno espresso la volontà di esplorare più volte la curva, sia nella direzione dal punto iniziale verso quello finale che viceversa.

I dati derivanti dal questionario post esperimento hanno evidenziato come il progetto risulti promettente in ottica di un utilizzo scolastico e presso Istituti per Ciechi, sia per studenti di scuola secondaria di primo grado sia di primaria; in quest'ultimo caso, una proposta è stata quella di utilizzare figure geometriche notevoli come oggetto dell'esplorazione, piuttosto che curve di funzione.

Non sono stati riscontrati limiti tecnici né funzionali per estendere l'utilizzo anche in ambito universitario (uno dei soggetti è uno studente universitario che ha manifestato come secondo la sua esperienza uno strumento del genere avrebbe aiutato molto nello studio di concetti grafici).

I soggetti sono riusciti a riconoscere le figure in genere già dalla prima esplorazione. Dopo due esplorazioni erano in grado di rispondere correttamente a tutte le domande poste, avendo – ragionevolmente – compreso il profilo generale delle curve esplorate.

I dati non sono stati calcolati in maniera statistica visto il numero non significativo degli stessi, ma nondimeno i risultati hanno permesso di ottenere delle risposte e di far emergere richieste di modifica per la preparazione dell'esperimento principale.

I soggetti hanno apprezzato lo strumento, sostenendo che sarebbe stato molto utile sia in ambito scolastico che universitario, dove – riportano – spesso per mancanza di strumenti adeguati gli studenti ciechi non hanno materiale adatto allo studio (ad esempio nei corsi di analisi matematica alla facoltà di Scienze Informatiche, per citare uno dei soggetti).

È piaciuta molto anche la possibilità di “esplorare una curva vera”: con questo commento uno dei soggetti si è riferito alla tecnica con cui è possibile stampare su dei fogli delle figure usando stampanti Braille, ma queste risultano inevitabilmente realizzate tramite una griglia grossolana, che non garantisce un effetto “continuo” della curvatura, ma piuttosto degli scalini che simulano la stessa. Nello schermo di un tablet o di uno smartphone, invece, la densità di pixel è tale che la curvatura viene percepita come continua e non come un insieme di punti discreti in una griglia. Da qui la percezione di una “curva vera” nel prototipo digitale.

Sono inoltre piaciute le modalità di feedback (la vibrazione isolata, la vibrazione accompagnata da suoni, la vibrazione con sintesi vocale) e una delle proposte dei soggetti è stata di rendere configurabile la modalità da usare.

Inoltre, fra le modifiche richieste, è emersa una questione di carattere progettuale con possibili ricadute in ambito teorico per il design delle interfacce utente per ciechi, ovvero come trattare lo spazio “bianco” (o “vuoto”) rispetto agli elementi attivi. Questo tema viene trattato nel dettaglio nel capitolo cinque ed è stato integrato nel disegno sperimentale definitivo con la già citata tecnica “S”.

4.4 Esperimento principale

L'esperimento principale è stato completato in un periodo di circa sei mesi da agosto 2022 a dicembre 2022. Sono stati coinvolti diversi enti ed istituti, fra cui l'Unione Ciechi Bologna, l'Unione Ciechi Pesaro e l'Istituto dei Ciechi Cavazza di Bologna. I dati sono stati raccolti durante l'utilizzo del prototipo da parte degli utenti. Tutti i soggetti hanno aderito al trattamento dei dati personali (così come già citato per gli utenti dell'esperimento pilota) con un'informativa redatta secondo l'ART. 13 REG. UE 2016/679. L'informativa è stata redatta dall'autore e approvata dal Comitato etico per la ricerca dell'Università IUAV di Venezia. Non è stato possibile registrare video né acquisire materiale fotografico durante gli esperimenti, poiché il Comitato etico interpellato, nella tutela dei soggetti coinvolti, ha permesso soltanto la raccolta dei dati strettamente necessari allo studio. Durante gli esperimenti gli utenti hanno spesso dialogato sui benefici del progetto e sulle possibilità di integrazione in corsi in ambito privato, scolastico e universitario.

4.4.1 Motivazione

L'esperimento risulta propedeutico nel valutare la validità della tecnica originale LT, che introduce la sintesi vocale, così come la tecnica S che introduce il suono per lo spazio passivo dell'interfaccia. L'esperimento è stato inoltre importante per raccogliere non soltanto le preferenze degli utenti sulle tecniche ma sul progetto in generale. Oltre a ciò, gli utenti hanno espresso diverse richieste, spesso a livello applicativo, che hanno permesso di creare una *roadmap* di progetto che comprende un flusso di sviluppo verso un prodotto completo. Questi aspetti sono dettagliati nel capitolo 6.5.

4.4.2 Demografica

Il campione di utenti che ha partecipato all'esperimento comprende 12 soggetti. Questo valore è in linea con il numero di partecipanti non vedenti negli esperimenti di studi simili (Butler et al., 2021, p. 10), come in Palani & Giudice, 2017 (sei partecipanti), Tennison & Gorlewicz, 2019 (12 partecipanti), Giudice et al., 2012 (15 partecipanti di cui tre non vedenti), Tennison et al., 2020 (17 partecipanti).

In un recente studio (Palani & Giudice, 2017, p. 9:7) si sottolinea come in letteratura è emerso che per testare un prototipo di interfaccia di questo tipo sia sufficiente un esperimento con soggetti vedenti ma bendati, poiché in studi pregressi i dati risultanti dai diversi test con utenti bendati e non vedenti non hanno evidenziato differenze significative. Ad ogni modo, nello stesso articolo viene poi specificato come, per avere dei dati il più possibile coerenti con le caratteristiche degli utenti finali dell'interfaccia, è consigliabile (se possibile) svolgere direttamente i test con utenti ciechi o ipovedenti.

Questo mi ha portato ad organizzare l'esperimento con soli utenti non vedenti o ipovedenti: il numero dei soggetti è stato limitato sia dalla difficoltà nel reperire non vedenti di età compresa fra i 18 e i 35 anni, sia nell'aver un numero di soggetti multiplo di quattro per garantire un bilanciamento fra le tecniche utilizzate e le grafiche tattili esplorate.

Come evidenziato da Giudice e Palani (2017, p. 9:17), troviamo in letteratura che un numero di circa sei soggetti è sufficiente per individuare i problemi principali legati all'usabilità di un'interfac-

cia come quella in oggetto. Va ricordato come tale numero sia proporzionato al numero di soggetti ciechi rispetto alla popolazione generale, per la fascia d'età in esame.

Si consigliano in futuro ulteriori esperimenti con un numero di

soggetti maggiore, in modo da individuare criticità e punti di forza dell'interfaccia su una più ampia scala.

Nella **Tabella 2** vengono mostrati i dati raccolti per quanto riguarda i soggetti coinvolti nell'esperimento.

Utente	Età	Gender	Grado di istruzione	Disabilità visiva sì/no	Tipo disabilità visiva	Anni (con un qualche tipo) di disabilità visiva	Anni di disabilità visiva / età	Anni cieco 100%	Anni cieco 100% / età		Da quanti anni conosce braille	Giorni uso braille al mese	Esperienza immagini tattili sì/no	Possiede tablet sì/no	Giorni uso tablet alla settimana	Preferenza LT	Preferenza LA	Preferenza S	Preferenza senza S
Soggetto 1	33	M	diploma superiore	sì	cieco totale	12	0.36	6	0.18		1	1	no	sì	7	0	0	0	1
Soggetto 2	22	M	laureando	sì	cieco totale	22	1.00	22	1.00		16	1	no	sì	1	0	0	0	1
Soggetto 3	22	M	laureando	sì	cieco totale	18	0.82	18	0.82		17	30	sì	sì	7	0	1	1	0
Soggetto 4	30	M	laureato triennale	sì	cieco totale	12	0.40	12	0.40		11	30	sì	sì	0	0	0	1	0
Soggetto 5	19	M	laureando	sì	cieco totale	19	1.00	19	1.00		13	1	sì	sì	0.5	1	0	1	0
Soggetto 6	28	M	laureando	sì	cieco totale	28	1.00	28	1.00		22	4	sì	sì	0.5	1	0	1	0
Soggetto 7	20	F	diploma superiore	sì	cieco totale	17	0.85	5	0.25		0	0	sì	sì	1	0	0	1	0
Soggetto 8	23	M	laureando	sì	ipovedente	2	0.09	0	0.00		0	0	no		0	1	0	0	1
Soggetto 9	25	M	laureando	sì	cieco totale	21	0.84	21	0.84		21	30	sì	no	0	0	1	1	0
Soggetto 10	26	M	laureando	sì	cieco totale	26	1.00	7	0.27		0.16	30	sì	sì	7	1	0	1	0
Soggetto 11	20	M	diploma superiore	sì	cieco totale	20	1.00	20	1.00		16	30	sì	no	0	0	1	1	0
Soggetto 12	30	M	laureando	sì	ipovedente	12	0.40	0	0.00		3	0	sì	sì	0.25	1	0	0	1

Tabella 2
Dati raccolti dal campione con il questionario pre-esperimento.

I dati sono stati normalizzati per effettuare un'analisi statistica. Alcuni soggetti hanno fatto fatica a quantificare in anni la propria esperienza con il Braille, quante volte è utilizzato su base mensile, e la frequenza d'uso del tablet. Assieme all'esaminatore sono state concordate delle frequenze stimate. Eseguendo delle analisi di statistica descrittiva, si nota che l'età media dei partecipanti è di 24 anni (di 19 anni il più giovane, di 33 anni il meno giovane), tutti di genere maschile tranne un solo soggetto femminile; in media, gli utenti esaminati hanno avuto una disabilità visiva presente per il 73% della propria vita totale, al momento dell'indagine. Due utenti su dodici non sono ciechi totali ma ipovedenti.

Il Braille è abbastanza conosciuto nel campione (da circa 10 anni in media) ma risulta poco utilizzato, con soltanto 13 giorni al mese di utilizzo medio. Quasi tutti gli utenti possiedono un tablet ma viene usato molto poco, in media soltanto due giorni alla settimana.

Il 75% dei soggetti ha avuto esperienza con le immagini tattili; gli utenti sono per la maggior parte laureandi triennale (67% del totale), per il 25% diplomati, mentre un soggetto (8,3%) è un laureato triennale.

Descrittive							
	N	Mancanti	Media	Mediana	SD	Minimo	Massimo
Età	12	0	24.833	24.000	4.589	19	33
Gender	12	0					
Grado istruzione	12	0					
Disabilità Visiva	12	0					
Anni disabilità visiva	12	0	17.417	18.500	7.103	2	28
Anni disabilità visiva su età	12	0	0.730	0.845	0.325	0.0900	1.00
Anni cieco totale	12	0	13.167	15.000	9.379	0	28
Anni cieco totale su età	12	0	0.563	0.610	0.415	0.0000	1.00
Da quanti anni conosce Braille	12	0	10.013	12.000	8.649	0.0000	22.00
Giorni uso Braille su mese	12	0	13.083	2.500	14.969	0	30
Esperienza immagini tattili	12	0					
Possiede tablet	11	1					
Giorni uso tablet su settimana	12	0	2.021	0.500	3.024	0.0000	7.00

Tabella 3
Analisi descrittiva dei dati demografici del campione.

Frequenze

Frequenze di Gender			
Gender	Frequenze	% del Totale	% Cumulata
M	11	91.7%	91.7%
F	1	8.3%	100.0%

Frequenze di Grado istruzione			
Grado istruzione	Frequenze	% del Totale	% Cumulata
diploma superiore	3	25.0%	25.0%
laureando	8	66.7%	91.7%
laureato triennale	1	8.3%	100.0%

Frequenze di Disabilità Visiva			
Disabilità Visiva	Frequenze	% del Totale	% Cumulata
cieco totale	10	83.3%	83.3%
ipovedente	2	16.7%	100.0%

Frequenze di Esperienza immagini tattili			
Esperienza immagini tattili	Frequenze	% del Totale	% Cumulata
no	3	25.0%	25.0%
sì	9	75.0%	100.0%

Frequenze di Possiede tablet			
Possiede tablet	Frequenze	% del Totale	% Cumulata
sì	9	81.8%	81.8%
no	2	18.2%	100.0%

Tabella 4

Analisi descrittiva dei dati demografici del campione, suddivisa per variabili.

4.4.3 Metodo

La struttura dell'esperimento è stata definita in modo da garantire un bilanciamento fra le tecniche utilizzate. Ogni partecipante esplora tre figure diverse e per ognuna effettua due esplorazioni. Ogni partecipante effettua almeno un test con la tecnica S (integrata con un'altra tecnica) ed almeno uno senza.

I soggetti sono in multiplo di quattro, questo per garantire un bilanciamento fra le casistiche (si rimanda al capitolo 4.2.2 "Variabili indipendenti"). In totale ogni tecnica viene testata lo stesso numero di volte con e senza la tecnica S incrociata.

Le figure da esplorare (tre in totale) devono essere create redazionalmente in modo da garantire una difficoltà di riconoscimento simile; la figura da usare per il *training* (la stessa per ogni soggetto) deve risultare di una complessità paragonabile alle figure presentate nei test.

La struttura dell'esperimento è di tipo "*within-subjects*", che prevede che ad ogni soggetto vengano presentate tutte le casistiche possibili. Questo è in linea con gli esperimenti pregressi (Giudice et al., 2012, p. 105; Gorlewicz et al., 2020, p. 10:26), permette di massimizzare la relazione causa-effetto ("*true experimental design*") e di avere trattamenti e osservazioni consecutive vicini nel tempo (Brent & Leedy, 1990, p. 231). La suddivisione in gruppi non avrebbe portato alcun vantaggio dato il basso numero di partecipanti all'esperimento. Le tre figure vibrotattili vengono esplorate ognuna lo stesso numero di volte se il numero di soggetti è nelle proporzioni previste.

Ogni soggetto, dopo il questionario iniziale (cap. 4.4.3.1 “Questionario preliminare”) effettua una fase di *training*; ragionevolmente ognuno di essi inizia i test veri e propri con un’esperienza e conoscenza dello strumento simile.

La fase di *training* consiste nello spiegare all’utente il software, dal suo scopo al suo utilizzo, e nel prendere confidenza anche con la cornice tattile realizzata ad-hoc, per orientarsi in maniera autonoma durante l’esplorazione (la cornice viene trattata nel capitolo 6.5.4). Vengono date inizialmente delle indicazioni generali riguardo ai feedback e a come questi vengono emessi (in risposta a quale tipo di input). Vengono poi comunicate alcune regole pre-stabilite: la figura si sviluppa sempre da sinistra verso destra e i suoi confini sono delimitati interamente da quelli del display del tablet in uso.

Vengono date poi delle indicazioni riguardo alle strategie di esplorazione, basandosi su ciò che gli studi pregressi hanno evidenziato funzionare meglio. In generale è comunque bene lasciare l’utente libero di crearsi il proprio sistema di orientamento e di esplorare la figura come meglio crede; questo tipo di “manualità” si sviluppa durante le esplorazioni, ed è ragionevole pensare che migliori con il tempo. I suggerimenti che vengono dati sono: muoversi a piccoli movimenti a “zig zag” mentre si percorre il contorno della figura e operare dei movimenti lenti con spostamenti brevi, per non perdersi (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:12). Viene inoltre detto all’utente che il punto iniziale della curva si trova sul lato sinistro, senza specificare in quale posizione rispetto all’asse verticale, in modo da non posizionare manualmente il dito dell’utente, cosa che potrebbe risultare spiacevole (quest’ultima indicazione è emersa

dagli utenti durante la fase di esperimento pilota). L’utente è invitato, prima dell’esplorazione, a toccare tutti i contorni del tablet e dei lati attivi dello schermo per capirne le dimensioni, e a crearsi il proprio sistema di riferimento e di “ancoraggio” utilizzando le dita, eventualmente con l’ausilio della cover.

Prima di procedere, all’utente viene inoltre spiegato qual è lo scopo dell’esplorazione e quali domande verranno poste dopo le esplorazioni di ogni figura.

Come si può vedere in **Figura 9**, l’iter previsto per ogni soggetto è il seguente:

- questionario preliminare;
- fase di *training*;
- esplorazione della prima figura (vengono valutate le variabili dipendenti “tempo di esplorazione” e “accuratezza del riconoscimento”), altra esplorazione della prima figura, di nuovo vengono valutate le variabili sopracitate;
- vengono esplorate le figure due e tre con lo stesso iter per la prima figura;
- questionario finale riguardo al progetto in generale (e valutazione della variabile “preferenza utente”).

Organizzazione dell'esperimento

Legenda:

- SoggN (soggetto esperimento)
- PreQ (questionario preliminare)
- PostQ (questionario post esperimento, per valutare var. dip. 4)
- Tr (training)
- LA (tecnica di controllo)
- LT (tecnica da testare)
- LX + S (tecnica X usata anche con tecnica S)
- a,c,d = TGs (grafiche tattili da esplorare)
- LXn = Usare tecnica "LX" per esplorare la grafica tattile "n"
- Obs2,3 = Osservazione var. dipendenti 2 e 3
- Obs1 = Osservaz. var. dipendente 1 → **prima di riprodurla, l'utente può riesplorarla quanto vuole finché non si sente pronto**

Note:

- "within-subjects" design
- condizioni bilanciate fra i partecipanti se in multiplo di 4
- la "difficoltà" intrinseca delle TGs è la stessa
- TGs da testare bilanciate se i partecipanti sono in numero multiplo di 4, altrimenti casualmente assegnate
- come leggere la tabella: da sinistra vero destra la linea temporale, in colonna i vari soggetti dell'esperimento

Note aggiuntive:

- le tecniche vengono casualmente incrociate con la tecnica S, ma con i seguenti vincoli:
 - la stessa tecnica viene testata un numero di volte uguale con e senza S
 - ogni soggetto testerà almeno una tecnica con S e una senza (previste 3 TGs da testare per soggetto)

Variabili Dipendenti

- 1 - Accuratezza del riconoscimento
- 2 - Tempo di esplorazione
- 3 - Preferenza utente

Sogg1	PreQ	Tr	LTa + S	Obs2,3	Obs1	LTa + S	Obs2,3	Obs1	LAd	Obs2,3		Obs1	LAd	Obs2,3	Obs1	LAc	Obs2,3	Obs1	LAc	Obs2,3	Obs1	PostQ
Sogg2	PreQ	Tr	LAA	Obs2,3	Obs1	LAA	Obs2,3	Obs1	LTd + S	Obs2,3		Obs1	LTd + S	Obs2,3	Obs1	LTC + S	Obs2,3	Obs1	LTC + S	Obs2,3	Obs1	PostQ
Sogg3	PreQ	Tr	LTd	Obs2,3	Obs1	LTd	Obs2,3	Obs1	LAA + S	Obs2,3		Obs1	LAA + S	Obs2,3	Obs1	LAc + S	Obs2,3	Obs1	LAc + S	Obs2,3	Obs1	PostQ
Sogg4	PreQ	Tr	LAd + S	Obs2,3	Obs1	LAd + S	Obs2,3	Obs1	LTa	Obs2,3		Obs1	LTa	Obs2,3	Obs1	LTC	Obs2,3	Obs1	LTC	Obs2,3	Obs1	PostQ
Sogg5...N	PreQ	Tr	LXx	Obs2,3	Obs1	LXx	Obs2,3	Obs1	LXx	Obs2,3		Obs1	LXx	Obs2,3	Obs1	LXx	Obs2,3	Obs1	LXx	Obs2,3	Obs1	PostQ

————— T —————→

Figura 9

Struttura definitiva dell'esperimento.

Prima di realizzare gli esperimenti, ogni soggetto ha accettato e firmato il trattamento dei dati personali (si veda cap 4.4), che sono stati in seguito trattati in modo aggregato e anonimo. Assieme

all'accettazione, gli utenti sono stati informati preliminarmente dello scopo della ricerca e in cosa consisteva l'esperimento, che non ha comportato nessun tipo di sforzo fisico né psicologico. Durante gli esperimenti è stato garantito un clima amichevole e collaborativo, chiedendo più volte (e non soltanto nella fase finale) il parere degli utenti riguardo alla ricerca e allo strumento.

4.4.3.1 Questionario preliminare

Il questionario preliminare somministrato ai soggetti è stato strutturato in modo da collezionare dati non aggregati ed anonimi, in modo da ricavare un'analisi descrittiva del campione.

Il questionario è stato organizzato in brevi domande che si concentrano sulla situazione clinica del soggetto riguardo alla vista e alla sua esperienza di utilizzo di codici Braille e di dispositivi general-purpose touchscreen. Nel dettaglio, sono stati richiesti:

- età
- *gender*
- grado di istruzione
- tipologia di disabilità visiva
- da quale età si è manifestata la disabilità visiva
- esperienza Braille (da quanti anni si usa il braille, quante volte si utilizza il Braille su base mensile)
- esperienza con immagini tattili in rilievo
- esperienza nell'utilizzo tablet (quante volte si utilizza il tablet su base settimanale).

In base alle risposte date, i dati sono stati normalizzati (in particolare le domande che prevedono risposte su base temporale), aggregati e anonimizzati, prima dell'utilizzo nella fase di analisi.

4.4.3.2 Svolgimento

Seguendo la struttura definita nel capitolo 4.4.3, ad ogni soggetto è stato richiesto, dopo la fase di *training*, di esplorare una curva mostrata a schermo. I soggetti ipovedenti non hanno guardato lo schermo durante l'esplorazione.

Dopo ogni esplorazione è stato richiesto ai soggetti se si sentivano pronti a rispondere alle domande riguardo alla figura esplorata; solo a quel punto è stato sottoposto il questionario dettagliato nel capitolo 4.2.4.

Per ogni figura e per ogni soggetto, l'esplorazione è stata ripetuta, in modo da avere in totale sei esplorazioni per soggetto, con tre figure diverse e almeno una figura esplorata con ogni tecnica, LA e LT.

I soggetti hanno spesso espresso diversi pareri riguardo all'interfaccia e al progetto, anche durante l'esplorazione. È stato limitato il dialogo riguardo al progetto rimandandolo ad una fase successiva, per evitare un calo di concentrazione durante il test. Nessuno dei soggetti ha abbandonato l'esperimento prima della conclusione.

4.4.4 Risultati e discussione

I dati ottenuti dagli esperimenti sono stati utilizzati in fase di analisi per capire se le ipotesi iniziali fossero soddisfatte o meno. Tramite la statistica descrittiva sono stati ricavati i dati di più semplice estrazione, mentre con una serie di test statistici è stata analizzata la significatività di altri risultati. Per semplicità, si è deciso di raccontare i risultati scientifici suddividendo le analisi per metrica, nell'ordine: la preferenza utente, i tempi di esplorazione e l'accuratezza del riconoscimento delle figure.

4.4.4.1 Preferenza utente

La preferenza utente è stata valutata con un questionario di tipo qualitativo, con domande relative alla preferenza soggettiva dell'interfaccia. Le risposte possibili riguardavano la preferenza verso una delle due tecniche oppure nessuna preferenza fra le due. Dai dati ottenuti è stata ricavata la media aritmetica.

Tecnica	Preferenza utente (Media)
LT	42%
LA	25%
Nessuna preferenza	33%

Tabella 5

Risultati per la preferenza utente delle tecniche per segnalare profilo della linea e punti di interesse.

Tecnica	Preferenza utente (Media)
S	67%
Senza S	33%
Nessuna preferenza	0%

Tabella 6

Risultati per la preferenza utente della tecnica per segnalare lo spazio bianco.

Come si vede dalla **Tabella 5**, alcuni utenti non hanno espresso una preferenza nella valutazione delle tecniche LA e LT, motivo per cui considerando la somma delle preferenze per le due tecniche non si copre il 100% delle risposte date. Diversamente, dalla **Tabella 6** notiamo come ogni singolo utente si sia espresso a favore o contro l'utilizzo della tecnica S (il valore "Nessuna preferenza", che nella tabella identifica una non preferenza, non è mai stato selezionato dagli utenti).

Sono stati effettuati dei test "chi quadro" (χ^2 *goodness of fit*) per le risposte dei 12 soggetti, prima con le preferenze per LA e LT e poi per S e non uso di S. Il test è stato scelto per indagare se la differenza fra i dati osservati e attesi fosse imputabile alla variabile del disegno sperimentale, oppure se fosse dovuta al caso.

Nella **Tabella 7** si osserva che, posta una situazione di equilibrio del 33% per ogni casistica, ovvero per:

- preferenza nell'utilizzo della tecnica di controllo (LA)
- preferenza nell'utilizzo della tecnica sperimentale (LT)
- nessuna preferenza

le divergenze trovate non risultano statisticamente significative, poiché il *p* value risulta maggiore del valore di soglia 0.05.

Test di Proporzioni (N Risultati)

Proporzioni - Preferenza			
Livello		Frequenza	Proporzioni
LA	Osservato	3	0.250
	Atteso	4.00	0.333
LT	Osservato	5	0.417
	Atteso	4.00	0.333
None	Osservato	4	0.333
	Atteso	4.00	0.333

χ^2 della bontà di adattamento		
χ^2	gdl	p
0.500	2	0.779

Tabella 7

Risultati del test chi quadro per la preferenza utente delle tecniche LA e LT.

Lo stesso tipo di analisi è stata effettuata sui dati di preferenza di S contro “non S”, e in questo caso sono stati ottenuti dei risultati statisticamente significativi (si veda la **Tabella 8**).

Test di Proporzione (N Risultati)

Proporzioni - Preferenza S/No S			
Livello		Frequenza	Proporzione
No S	Osservato	4	0.333
	Atteso	4.00	0.333
S	Osservato	8	0.667
	Atteso	4.00	0.333
None	Osservato	0	0.000
	Atteso	4.00	0.333

χ^2 della bontà di adattamento		
χ^2	gdl	p
8.00	2	0.018

Tabella 8

Risultati del test chi quadro per la preferenza utente della tecnica S (utilizzo contro non utilizzo).

Si nota quindi come la tecnica S, che aggiunge un segnale acustico per le aree passive dell’interfaccia, risulti preferita dagli utenti del campione (il 67% degli utenti la preferisce, risultato che ha significatività statistica, p value = 0.018). Ciò è in linea con i risultati trovati negli studi pregressi, secondo cui in questo ambito di interfacce gli utenti non vedenti preferiscono il maggior numero di feedback assistivi possibile (Tennison & Gorlewicz, 2019, p. 6:16).

4.4.4.2 Tempo di esplorazione

Le ipotesi, per i tempi di esplorazione dell’interfaccia nelle casistiche in oggetto, possono essere riassunte nei seguenti punti:

- che il tempo di esplorazione risulti minore per le esplorazioni in cui è usata la tecnica LT rispetto a quelle in cui è usata la tecnica LA
- che il tempo di esplorazione risulti minore per le esplorazioni in cui è usata la tecnica S rispetto a quelle in cui non è usata la tecnica S (questa metrica non era inizialmente prevista dal disegno sperimentale, ma grazie ai dati raccolti in questa analisi è risultata di facile misurazione).

I dati in possesso riguardano i tempi di inizio e fine esplorazione, calcolati partendo dagli orari dei momenti di interesse, salvati con una precisione al minuto. Di conseguenza i dati non possono essere utilizzati come variabili “continue”, con una precisione nell’ordine dei secondi.

Per questo sono stati assegnati dei valori ordinali per intervalli equidistanti, che indicano i seguenti valori temporali:

- meno di un minuto (≤ 1)
- più di un minuto ma meno di due ($< 1-2$)
- più di due minuti ma meno di tre ($< 2-3$)
- più di tre minuti ma meno di quattro (≥ 3).

Non ci sono casistiche di esplorazioni con durata maggiore a quelle sopracitate.

Si è partiti quindi da una scala di valori equidistanti interi, da 0 a 3, resa possibile dalla conversione dei valori elencati sopra – visto che si trattano di intervalli regolari.

I valori ottenuti sono visibili nella **Tabella 9**.

LT 1ª esplorazione	LT 2ª esplorazione	LA 1ª esplorazione	LA 2ª esplorazione
1	0	1	2
2	1	1	1
1	1	2	/
1	0	1	1
1	2	1	1
1	2	1	1
2	1	2	2
1	1	1	1
0	1	0	0
1	1	2	1
2	2	3	2
1	1	3	2
1	0	0	0
1	1	0	1
1	1	1	1
2	/	3	1
1	3	3	/
1	1	2	1

Tabella 9

Tempi di esplorazione, dati aggregati in valori ordinali.

L'analisi statistica è volta a individuare differenze significative nei tempi di esplorazione con LA e con LT, e fra quelle in cui si è utilizzata la tecnica S e non.

Partendo dalla **Tabella 9**, ne è stata generata un'altra in questo modo: ogni riga rappresenta le esplorazioni effettuate da ogni soggetto, e ogni colonna, per ogni casistica, rappresenta la media dei tempi delle esplorazioni.

Sono stati eseguiti dei *paired sample t-test* per ognuno dei due confronti a coppie, test ammesso vista la distribuzione normale garantita dal test di Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965) (dettagliato in **Tabella 10**).

Test di Normalità (Shapiro-Wilk)				
			W	p
media tempi LA	-	media tempi LT	0.944	0.552
media tempi S	-	media tempi NON S	0.933	0.410

Nota. Un piccolo valore di p suggerisce una violazione del presupposto di normalità

Tabella 10

Test di Normalità Shapiro-Wilk applicato ai tempi di esplorazione.

In **Tabella 11** notiamo come in entrambe le casistiche analizzate il *p* value, di valore maggiore della soglia dello 0.05, indichi una non significatività delle differenze riscontrate.

Test t a campioni accoppiati					
			statistica	gdl	p
media tempi LA	media tempi LT	Student's t	1.410	11.0	0.186
media tempi S	media tempi NON S	Student's t	0.867	11.0	0.404

Nota. $H_a \mu$ Misura 1 - Misura 2 \neq 0

Tabella 11

Risultati del *paired sample t-test* per i tempi di esplorazione nelle casistiche S/non S e LA/LT.

Per quanto riguarda la statistica descrittiva, anche dalle medie e dalle deviazioni standard dei valori emergono differenze minime fra le varie casistiche (Tabella 12).

Descrittive					
	N	Media	Mediana	SD	SE
media tempi LA	12	1.36	1.38	0.774	0.223
media tempi LT	12	1.13	1.13	0.494	0.143
media tempi S	12	1.32	1.13	0.669	0.193
media tempi NON S	12	1.17	1.38	0.643	0.185

Tabella 12

Analisi di statistica descrittiva per i tempi di esplorazione.

Dai dati in possesso non si ha evidenza del fatto che LT migliori i tempi di esplorazione rispetto ad LA, così come non si può assumere che la tecnica S migliori i tempi delle esplorazioni in cui viene usata.

Vale la pena sottolineare, infine, come se è pur vero che non è stata evidenziata una significatività con dati con risoluzione temporale nell'ordine del minuto, anche in presenza (idealmente) di dati con precisione al secondo, un eventuale scostamento significativo sarebbe risultato comunque poco rilevante a livello applicativo.

4.4.4.3 Accuratezza del riconoscimento

L'obiettivo di quest'ultima analisi è stato capire se l'accuratezza del riconoscimento delle figure potesse migliorare utilizzando la tecnica LT piuttosto che la tecnica LA.

Dodici soggetti non vedenti hanno risposto a delle domande riguardo alle figure esplorate, con due esplorazioni per ogni casistica. Ogni casistica è identificata da: figura da esplorare, tecnica utilizzata (LA o LT), eventuale integrazione della tecnica S.

Innanzitutto per semplicità di analisi sono state rimosse le prime esplorazioni, andando ad analizzare soltanto le risposte date dalla seconda esplorazione in ogni casistica. Le seconde esplorazioni rappresentano meglio la situazione ricercata ovvero testare le performance dei soggetti soltanto quando essi si ritengono pronti a rispondere alle domande. In altre parole, i dati delle seconde esplorazioni rispecchiano, ragionevolmente, la situazione di maggior esperienza con lo strumento e con la figura rispetto alle due esplorazioni, nonché una situazione più vicina all'uso quotidiano dello strumento, in cui ci si aspetta che l'utente diventi sempre più capace grazie ad un uso ripetuto nel tempo.

Posteriormente agli esperimenti dei soggetti non vedenti, 16 soggetti vedenti hanno risposto alle stesse domande sulle stesse figure: questi dati, una volta calcolate le frequenze in valori decimali di ogni risposta (tra quelle possibili, massimo sette) per ogni domanda (nove domande in totale), sono stati utilizzati come valore di riferimento.

Il riferimento è quindi formato dalle frequenze (del campione dei vedenti) delle varie risposte per ogni domanda.

Si è proceduto con un test “ χ^2 Goodness of fit”, per ogni domanda posta per ogni figura, per calcolare lo scostamento delle frequenze del gruppo dei non vedenti rispetto al gruppo di riferimento.

L’analisi è stata effettuata tenendo conto dei “livelli” per ogni domanda (ovvero le possibili risposte), che rappresentano i gradi di libertà del chi quadro test.

Dal valore del p value di ogni test possiamo apprendere la seguente informazione: se il p value è minore del valore di riferimento 0.05, l’ipotesi di partenza (ovvero che i risultati di vedenti e non vedenti siano simili) è rigettata e le proporzioni del gruppo sperimentale sono significativamente diverse rispetto a quelle del riferimento.

Nei casi in cui il p value si avvicina al valore “1” e il valore chi quadro quadrato è prossimo allo zero, abbiamo indicazione di come le risposte date siano molto simili – a volte uguali, fra i due gruppi.

In casistiche intermedie, ovvero quando il p value è maggiore di 0.05 ma lontano da 1, possiamo soltanto concludere che le proporzioni non sono significativamente diverse fra loro.

Con questa analisi si è quindi cercato di capire se LT aiutasse nel migliorare l’accuratezza del riconoscimento delle figure rispetto ad LA. I livelli, considerati come una scala ordinale di valori interi, sono stati in questo caso considerati indipendenti fra loro – per semplicità non è stata calcolata una “prossimità” tra le risposte date e quelle attese.

L’obiettivo dell’analisi e della ricerca è infatti di indagare il miglioramento eventuale che si può avere con LT rispetto ad usare LA, e non un’indicazione in senso assoluto dell’accuratezza del riconoscimento delle figure.

Le analisi realizzate sono state 38, 19 riguardanti la tecnica LA e 19 riguardanti la tecnica LT. Per ogni analisi, confrontando il p value con il valore di riferimento 0.05, è stato indicato se le due distribuzioni fossero diverse o no (quindi se l’accuratezza del riconoscimento fosse da considerarsi significativamente diversa dal riferimento o no). Questi valori sono stati poi aggregati in una tabella riassuntiva di 38 righe, ognuna per casistica (tecnica, codice domanda), riportante il valore “sì/no” dato dalle analisi precedenti – si veda la **Tabella 13**.

Tecnica	Domanda	TGs	Diverso da riferimento
LA	PPF	a	sì
LA	PPF	c	no
LA	PPF	d	sì
LA	SD1	a	no
LA	SD1	c	no
LA	SD1	d	no
LA	SD2	a	no
LA	SD2	d	sì
LA	SD3	a	no
LA	SD3	c	no
LA	SD3	d	sì
LA	SL1	a	sì
LA	SL1	c	sì
LA	SL1	d	sì
LA	SL2	a	no
LA	SL2	d	no
LA	SL3	a	sì
LA	SL3	c	sì
LA	SL3	d	sì
LT	PPF	a	no

Tabella 13.1

Tabella che riassume le casistiche in cui le risposte date dai non vedenti sono significativamente diverse da quelle date dal gruppo di controllo (gruppo di vedenti).

Tecnica	Domanda	TGs	Diverso da riferimento
LT	PPF	c	no
LT	PPF	d	sì
LT	SD1	a	no
LT	SD1	c	sì
LT	SD1	d	sì
LT	SD2	a	no
LT	SD2	d	no
LT	SD3	a	no
LT	SD3	c	no
LT	SD3	d	no
LT	SL1	a	sì
LT	SL1	c	no
LT	SL1	d	sì
LT	SL2	a	no
LT	SL2	d	sì
LT	SL3	a	sì
LT	SL3	c	no
LT	SL3	d	sì

Tabella 13.2

Tabella che riassume le casistiche in cui le risposte date dai non vedenti sono significativamente diverse da quelle date dal gruppo di controllo (gruppo di vedenti).

La tabella di contingenza (**Tabella 14**) mostra le differenze di performance rispetto ad ogni figura esplorata (“a”, “c”, “d”): le coppie di “no” che indicano i casi in cui le risposte fra vedenti e non vedenti non sono significativamente diverse, risultano in numero quasi uguale fra le tecniche LA e LT. L’evidenza è ancora maggiore dai dati delle righe “Totale” in cui si considerano tutte le figure esplorate, suddividendo i dati per tecnica. I test statistici (sezione

inferiore “Tests X²”) mostrano un *p* value molto elevato, a confermare che le differenze dell’accuratezza del riconoscimento, fra LA e LT nelle tre casistiche, sono trascurabili.

Tablelle di Contingenza

Tablelle di Contingenza				
TGs	Tecnica	Diverso da riferimento		Totale
		sì	no	
a	LA	3	4	7
	LT	2	5	7
	Totale	5	9	14
c	LA	2	3	5
	LT	1	4	5
	Totale	3	7	10
d	LA	5	2	7
	LT	5	2	7
	Totale	10	4	14
Totale	LA	10	9	19
	LT	8	11	19
	Totale	18	20	38

Test χ^2				
TGs		Valore	gdl	p
a	χ^2	0.311	1	0.577
	N	14		
c	χ^2	0.476	1	0.490
	N	10		
d	χ^2	0.000	1	1.000
	N	14		
Totale	χ^2	0.422	1	0.516
	N	38		

Tabella 14

Tablelle di contingenza per i dati di accuratezza del riconoscimento.

Non ci sono quindi evidenze che la tecnica LT dia risultati nell'accuratezza del riconoscimento migliori di LA.

Per completezza, è stata eseguita un'ulteriore analisi, volta in questo caso a dare un'indicazione assoluta dell'accuratezza del riconoscimento, per la tecnica LT e LA. L'analisi è stata svolta in questo modo: per ogni domanda, dal gruppo di riferimento dei vedenti, è stata scelta una risposta considerata "di riferimento", prendendo la risposta apparsa con frequenza maggiore fra quelle disponibili.

Poi, dalle risposte date dal gruppo dei non vedenti, per ogni domanda, sono state calcolate le frequenze della risposta di riferimento.

La **Tabella 15** mostra la statistica descrittiva delle frequenze delle risposte "di riferimento" date dai non vedenti e suddivide i dati per tecnica ma anche per figura esplorata.

Descrittive									
	Tecnica	TGs	N	Mancanti	Media	Mediana	SD	Minimo	Massimo
% freq. risposta di riferimento	LA	a	7	0	0.713	0.830	0.285	0.330	1.000
		c	5	0	0.800	0.830	0.137	0.670	1.000
		d	7	0	0.499	0.500	0.304	0.000	0.830
	LT	a	7	0	0.713	0.830	0.230	0.330	1.000
		c	5	0	0.700	0.670	0.299	0.330	1.000
		d	7	0	0.454	0.500	0.268	0.000	0.670

Tabella 15

Analisi descrittiva che mostra le percentuali di frequenza delle risposte "di riferimento" date dal gruppo di non vedenti, suddividendo i dati per tecnica e figura esplorata (colonna "TGs").

Come si nota, le differenze fra le due tecniche sono minime, mentre emergono delle indicazioni interessanti riguardo ad una differenza di performance considerando le diverse figure: per la figura "a" e "c", con entrambe le tecniche, le risposte corrette appaiono rispettivamente nel 71% e nel 75% dei casi, in media. Mentre per la figura "d" il riconoscimento è risultato più ostico e probabilmente non in linea come difficoltà con le altre due; le risposte corrette sono state date in meno del 50% dei casi per entrambe le tecniche.

È importante sottolineare come l'ultima analisi svolta abbia puramente scopo indicativo: come già detto, per comodità è stata scelta la risposta più frequente come riferimento dal gruppo dei vedenti, ma in alcuni casi la risposta scelta aveva una frequenza minore del 70%. Questo ad indicare che i valori sopracitati sono verosimilmente una stima al ribasso poiché in alcuni casi è risultato che i non vedenti hanno dato risposte diverse da quelle "di riferimento", ma allo stesso tempo i soggetti vedenti hanno dato risposte distribuite e non così uniformi. Non essendo questa analisi oggetto dello studio né propedeutica a rispondere all'ipotesi di partenza, non sono state ritenute necessarie ulteriori indagini per determinare un'accuratezza assoluta delle tecniche.

Vale comunque la pena notare che i valori indicativi riportati (che non hanno significatività statistica), i quali possono essere visti come una misura dell'accuratezza del riconoscimento delle figu-

re in senso assoluto – non relativamente ad una certa tecnica – non si discostano sensibilmente dai risultati ottenuti da Gorlewicz (2020, p. 10:23): in tale studio la tecnica di feedback usata è simile a quella indagata in questa ricerca, con la vibrazione usata per segnalare il profilo della linea ed un segnale acustico a segnalare i cambi di direzione della stessa. In tal caso il riconoscimento di figure geometriche è risultato corretto nel 86% circa dei casi in cui si è utilizzato il prototipo digitale, e nel 85% dei casi con l'uso di grafiche tattili in rilievo.

Studi futuri, con un numero maggiore di soggetti, potrebbero aiutare a rispondere a domande che emergono da questa analisi. Ad esempio, non si può escludere dai dati in possesso che vi sia una preferenza soggettiva per una tecnica rispetto ad un'altra. Questa possibilità emerge dagli scostamenti molto elevati nelle performance, che si hanno per la stessa tecnica con la stessa figura (si vedano le colonne "Minimo" e "Massimo" della **Tabella 15**). È possibile che alcuni soggetti garantiscano performance sempre buone con una tecnica piuttosto che con un'altra, anche se ciò non è emerso dalla preferenza utente.

Inoltre, non si esclude che la performance sia molto legata al soggetto; ovvero che anche se in media risulta una certa performance generale per una certa tecnica, è richiesto un ulteriore studio per indagare se i risultati sono migliori per alcuni soggetti in ogni condizione, e peggiori per altri in ogni condizione, ad indicare che il grado di "tattilità" e altre possibili caratteristiche individuali dei soggetti possono influenzare le performance in modo significativo.

Per la discussione dei risultati ottenuti da queste e da altre analisi dello studio si rimanda al capitolo finale (7.1).

5 Lo "spazio bianco" nelle interfacce acustiche per non vedenti

In questo capitolo si approfondisce un aspetto specifico della progettazione di interfacce per non vedenti, non previsto inizialmente ma emerso in modo importante per gli utenti durante gli esperimenti. Il tema riguarda come trattare l'area non attiva dell'interfaccia durante l'esplorazione.

L'accessibilità degli elementi dell'interfaccia utente quali i menù, le impostazioni, ecc. esula da questo studio poiché molto legata alla realizzazione tecnica; nel capitolo 6.4 si raccontano comunque le accortezze e gli sforzi tecnici realizzati per consentire ad utenti con disabilità visiva di utilizzare autonomamente il software usato per gli esperimenti.

L'aspetto sperimentale della ricerca emerge invece maggiormente nel trattare l'area esplorabile e di conseguenza nell'aspetto percettivo, che rappresenta il focus principale ed è a mio avviso di primaria importanza per un'applicazione il cui obiettivo è portare il fruitore alla comprensione delle relazioni spaziali di contenuti digitali.

5.1 Il problema dello “spazio bianco”

Durante l’esperimento pilota, valutando i questionari sulla preferenza utente delle tecniche coinvolte, è emerso come la totalità dei soggetti desiderasse un feedback per segnalare le situazioni in cui veniva esplorata la zona “vuota” dell’interfaccia.

Il cosiddetto “spazio bianco” o zona in negativo, in questo caso riguarda lo “sfondo” su cui è disegnata la figura da esplorare. Nella prima fase sperimentale non erano stati previsti feedback che permettevano all’utente di capire se fosse “fuori traccia” durante l’esplorazione: il feedback era intrinseco, rappresentato dall’assenza di segnali specifici quali vibrazioni, parlato o suoni.

In pratica se l’utente fosse uscito dal tracciato, se ne sarebbe accorto poiché non veniva emessa nessuna segnalazione.

I soggetti hanno suggerito che questa informazione può invece risultare utile, poiché è in linea con il funzionamento di dispositivi assistivi utilizzati ogni giorno e in generale aiuta l’utente a capire che l’applicazione sta funzionando correttamente, senza problemi o interruzioni.

Questo tipo di richiesta era già emersa in alcuni studi (Gorlewicz et al., 2020, p. 10:8) legati a questo ambito di ricerca, ma soltanto in modo aneddotico; in letteratura non si trova, ad oggi, una proposta che possa essere utilizzata in questo specifico ambito.

Questa progettazione rientra nell’ambito del “*sound design*”, ovvero una pratica che abbraccia diversi settori fra cui il design di interfacce utente, dove in particolare il cosiddetto “*additive sound desi-*

gn” riguarda l’aggiunta di effetti acustici per veicolare informazioni e sensazioni verso l’utente (Case & Day, 2018). Con il supporto del Prof. Spagnol (Università IUAV di Venezia), *sound designer*, ho indagato le diverse modalità con le quali è possibile informare l’utente riguardo alla presenza dello spazio bianco: ad esempio una modalità di tipo “sonar”, dove il suono cambia in intensità, intonazione o volume in base a quanto l’utente è distante dalla traccia. Oppure una modalità più semplice dove il suono emesso non cambia in nessuna proprietà e viene riprodotto in ugual modo ad ogni interazione con lo spazio bianco. Oltre a questo, vanno progettati e scelti suoni di diversa natura, diverse proprietà e poi testati sperimentalmente.

È stato deciso di progettare e testare una soluzione, da integrare come una nuova tecnica originale (denominata tecnica “S”) espandendo il disegno sperimentale originale (il disegno sperimentale definitivo è descritto nel capitolo 4.2.1.3). Questa tecnica introduce un suono, a bassa frequenza e di breve durata, che viene riprodotto quando l’utente interagisce con una parte dello schermo dove non è presente il profilo della figura che sta esplorando.

La scelta di utilizzare un suono di breve durata, riprodotto frequentemente viste le continue interazioni dell’utente con lo schermo, si basa su ricerche pregresse (Mandanici et al., 2018, p. 4). I suoni assegnati precedentemente per la tecnica LA prevedono l’uso di un suono DTMF (Tennison & Gorlewicz, 2019, p. 6:5); il suono generato per la tecnica S è invece una sinusoide con una frequenza più bassa, poiché esso viene verosimilmente riprodotto più frequentemente e potrebbe disturbare l’utente (Lewis et al., 2015, p. 60). Inoltre, il segnale audio è stato attenuato in entrata e in uscita (con un effetto cosiddetto di “*fade in*” e di “*fade out*”).

I due suoni (per la tecnica LA e per la tecnica S) sono diversi fra loro, ciò diminuisce il rischio di confondere la semantica, rischio che dalla letteratura è risultato essere un problema in ambito di interfacce per soggetti non vedenti (Lewis et al., 2015, p. 67).

Non si esclude in futuro una rivisitazione del suono scelto o della tecnica proposta per indicare lo spazio bianco. Ulteriori studi in questo specifico campo sono necessari a ricercatori che intendano migliorare l'interazione dell'utente con l'interfaccia oggetto di studio.

5.2 Risultati sperimentali

Come già riportato nel capitolo 4.4.4, non sono state ottenute, dagli esperimenti, indicazioni riguardo ad un miglioramento dei tempi di esplorazione né dell'accuratezza del riconoscimento delle figure utilizzando la tecnica S piuttosto che non utilizzarla. Ma si è avuta conferma, con significatività statistica, di come la tecnica S risulti preferita dagli utenti (67% di preferenze contro il 33%, p value = 0.018), ovvero di come sia stata espressa la volontà di segnalare lo spazio bianco dell'interfaccia con un feedback acustico.

5.3 Discussione e sviluppi futuri

L'introduzione di un suono che segnali lo spazio bianco in un'interfaccia come quella in oggetto porta con sé diversi livelli di complessità e per questo spunti per studi futuri. Trattando soltanto l'aspetto progettuale di un'interfaccia per non vedenti che comprende una segnalazione anche per lo sfondo sul quale una figura principale emerge, è possibile approfondire tematiche di grande interesse. In particolare, nel mio studio l'aggiunta di tale feedback è stata posteriore alla progettazione dell'interfaccia, già completata in fase di esperimento pilota. Quale impatto ha avuto questo nella scelta e nell'integrazione del nuovo segnale? Avrebbe fatto differenza, e in quale misura, progettare l'interfaccia sapendo fin dalla fase iniziale di dover integrare un feedback per lo sfondo? Cosa potrebbe emergere da un confronto in cui tale integrazione avviene prima oppure dopo?

Altri livelli di approfondimento sono già stati citati nel capitolo 5.1 e riguardano come segnalare lo spazio bianco. Anche in questo caso, sono tanti gli spunti possibili:

- quale suono usare? Con quali caratteristiche?
- quale tipologia di suoni garantisce maggior preferenza utente? Quale garantisce un minor tempo di esplorazione e una maggior accuratezza del riconoscimento?
- quale strategia di riproduzione del suono è preferibile (ad esempio a "sonar", costante, o variando alcune caratteristiche quali volume o intensità)?

In questi casi non va dimenticato il contesto in cui determinate analisi avranno luogo: introdurre strategie di segnalazione potrebbe aggiungere complessità al carico cognitivo richiesto all'utente. Partendo quindi da studi "isolati", sarà interessante procedere gradualmente con studi sempre più integrati che considerino l'interfaccia come un sistema con il quale l'utente deve interagire e che può comportare tipi di risposta diversi a seconda della complessità percepita.

L'integrazione della tecnica S in questo studio vuole essere un'indicazione per aprire a studi più approfonditi e dedicati al tema dello spazio bianco per interfacce per non vedenti. Questi risultati e considerazioni vanno ad arricchire le linee guida già presentate in studi pregressi (Gorlewicz et al., 2020) aggiungendo ulteriori dati e spunti di approfondimento in questo ambito.

Come già sottolineato, il tema è molto complesso e di natura multidisciplinare. Dopo un'analisi della letteratura corrente, non sono stati trovati casi pregressi di studi o di esperimenti riguardo allo spazio bianco per interfacce *touchscreen* per ciechi. Questo ha portato all'obiettivo di sfruttare l'opportunità di avere dei dati sperimentali grazie alla ricerca già in corso, in modo da fornire uno studio pionieristico seppur con una mole di dati ridotta.

L'analisi statistica dei dati raccolti ha confermato le osservazioni avute luogo durante gli esperimenti, suggerendo la necessità di approfondire il tema con indagini future.

6 Grafiche tattili come file per dispositivi general-purpose

6.1 Grafiche tattili come risorse digitali

Le immagini vibrotattili, se utilizzate su dispositivi touchscreen general-purpose, devono necessariamente essere sotto forma di "oggetto" digitale, riusabile, condivisibile e modificabile. Questo concetto è da tempo, nell'informatica, identificato dai file. È naturale quindi considerare una grafica vibrotattile come un file manipolabile da app mobile e da siti web.

Ciò comporta diversi vantaggi trattati di seguito con alcuni esempi di file che descrivono figure vibrotattili utilizzabili in ambito scolastico e non.

6.1.1 Motivazione

Realizzare le grafiche tattili come file permette di ottenere un flusso di dati partendo dal redattore (o creatore delle grafiche) fino all'utente finale.

Il file, come si vedrà nel capitolo 6.1.2, è di tipo testuale, e questo permette la sua modifica con dei semplici programmi di *editing* di testo, disponibili in tutti i sistemi operativi di personal computer e dispositivi portatili come smartphone e tablet. I file sono fruibili anche da applicativi web, di conseguenza risultano accessibili da ogni piattaforma. Questo permette di modificare le grafiche vibrotattili direttamente dal dispositivo portatile.

Una volta modificate o create, è possibile ottenere le grafiche sul proprio dispositivo tramite il *download* da un sito o software con la funzione di catalogo.

I file, oltre ad essere un oggetto facilmente manipolabile, sono condivisibili sul Web; questo permette lo scambio di risorse a zero costi e in maniera accessibile, poiché è sufficiente una connessione ad Internet e l'uso di un browser. Il file in questione è un file di testo che pesa pochi Kilobyte, una "dimensione" facilmente gestibile in tempi brevi da ogni tipo di connessione Internet moderna (Daengsi et al., 2020, p. 2).

6.1.2 Formato JSON e definizione della struttura semantica

Il primo passo nello sviluppo dei prototipi che hanno permesso gli esperimenti in questa ricerca è stata la creazione dei file che descrivono le grafiche tattili; ancor prima, la definizione della struttura semantica di questi file, e le tecnologie da usare.

La scelta tecnologica è ricaduta sul formato JSON come tipo di file e sullo standard SVG (W3C, 2011) per descrivere graficamente il contenuto. La scelta di utilizzare standard già noti permette la compatibilità con l'ambiente web.

Il JSON (acronimo di *JavaScript Object Notation*) è un formato di tipo testuale diventato standard nel 2013 e utilizzato in molte applicazioni moderne, in ambito mobile e web principalmente. Senza entrare nel merito tecnico, permette di creare "oggetti", su più livelli, realizzando delle gerarchie e definendo delle proprietà che descrivono l'oggetto. Il JSON è un formato caratterizzato dalla semplicità d'uso, con una sintassi limitata e un supporto limitato ai tipi di dato permessi (numeri, stringhe, *array*, fra gli altri).

La semplicità del JSON permette di definire degli oggetti, in questo caso delle grafiche vibrotattili, creando dei file di testo leggibili non solo in modo automatizzato, ma anche dall'uomo. Quest'ultima considerazione riguarda la comprensione della struttura del file e delle proprietà testuali, come titolo e descrizione. Non si può dire lo stesso per quanto riguarda la proprietà in cui viene descritto, con un testo, il tracciato della figura.

Per questa proprietà si è scelto di procedere con un altro formato standard, il già citato SVG (*Scalable Vector Graphics*), usato per definire file di grafica vettoriale in due dimensioni.

Questo formato è stato scelto per la sua diffusione in ambito Web, e la compatibilità con le tecnologie web utilizzate nei software che compongono l'ecosistema *Tiresia* e non solo: questa scelta rende l'ecosistema "aperto", integrabile con altri che, anche se realizzati con tecnologie diverse, supportano standard moderni dello sviluppo software.

Come già citato, tramite strumenti di *editing* visuale di immagini è possibile disegnare forme geometriche, testi con un particolare aspetto grafico e immagini digitali complesse. Ciò che

viene generato è un testo con una determinata sintassi e semantica, che descrive la figura utilizzando un insieme limitato di concetti (come il *Path*, per definire “percorsi”, la *Line* per le linee, e altre forme geometriche notevoli). Questo testo è leggibile da un essere umano ma difficilmente comprensibile; d’altro canto la forma testuale permette di mantenere le dimensioni del file ridotte, per facilitarne la modifica e la condivisione. Il file può sempre essere “letto” tramite software appositi che permettono la visualizzazione grafica, e un utente redattore può modificarne il contenuto senza avere conoscenze riguardo la corretta composizione di un testo SVG. L’utilizzo di software WYSIWYG (*What You See Is What You Get*, ovvero con un’interfaccia grafica) per disegnare le figure nasconde la scelta tecnologia di SVG e di JSON all’utente, il quale non dovrà preoccuparsi di conoscere tali formati per modificare le grafiche vibrotattili.

In seguito verranno mostrate le possibilità abilitate dall’uso di JSON e SVG come formati (standard) nella definizione delle TGs di *Tiresia*.

La struttura del formato diventerà pubblicamente disponibile con licenza Open Source al seguente indirizzo web <https://tinyurl.com/yz33s2p7>¹ in seguito alla discussione della tesi di Dottorato.

¹ Il file è temporaneamente protetto da password fino alla discussione della tesi di Dottorato. Se il link risulta protetto, è possibile utilizzare la seguente password per aprire il file: tgs23crp!9L

Il titolo e la descrizione presenti nella struttura sono utilizzati, rispettivamente, per presentare la figura all’utente e dare eventualmente istruzioni riguardo all’esplorazione. Nell’applicazione *mobile* che permette di esplorare le figure, questi due testi vengono letti automaticamente all’utente con la sintesi vocale ogni volta che una figura viene selezionata per essere esplorata.

Questa accortezza rende l’esplorazione più dinamica e diversificata, se necessario, tra le figure, ed è ispirata ad uno studio in cui Doore et al. (2023, p. 4) descrivono un sistema simile a quello sviluppato in questa ricerca. Le istruzioni del redattore presenti nel file permettono all’utente di essere autonomo nell’esplorazione. Non è necessario, quindi, decidere a priori il “verso” dell’esplorazione, né altre informazioni riguardo al punto iniziale o finale.

Anche nelle già citate linee guida di Gorlewicz (2020, p. 10:17), peraltro, viene consigliato di riprodurre con sintesi vocale un testo (in Doore la “descrizione”) per presentare la figura all’utente prima di iniziare ogni esplorazione.

La comunità scientifica, in particolare gli sviluppatori e i ricercatori che intendano proseguire nella ricerca in questo particolare ambito, sono invitati a usare questa struttura e creare file di grafiche tattili in accordo con essa. Ciò aumenterebbe le possibilità di rendere la definizione uno standard “de-facto”, da usare per creare un database di grafiche tattili pronte all’uso.

6.1.3 Esempi e feedback aggiuntivi

In questo capitolo vengono presentati diversi esempi di figure tattili utilizzabili con l'app mobile *Tiresia*, nome del progetto e del sistema realizzato in questa ricerca con lo scopo di trattare le grafiche dalla creazione alla fruizione finale da parte dell'utente.

In questa ricerca l'obiettivo è migliorare l'esplorazione di curve di funzione, quindi di tracciati aperti, motivo per cui il concetto geometrico di "area" non è stato esplorato. Durante i vari esperimenti, come già riportato, sono emerse però richieste riguardo l'espansione del progetto verso altri utilizzi, didattici e non, in particolare verso l'esplorazione di figure di geometria piana e di piante schematiche tattili.

In questo capitolo vengono proposte delle soluzioni possibili, da indagare riguardo all'aspetto percettivo e didattico. In particolare, ci si è riferiti ad uno studio di Doore (2023, p. 4) in cui i tracciati chiusi vengono esplorati con il supporto dei seguenti feedback:

- quando l'utente tocca il bordo della figura, viene emessa una vibrazione così come accade ora in *Tiresia*;
- quando l'utente entra nell'area interna della figura, viene emesso un suono costante, ripetuto finché l'utente rimane nell'area;
- all'ingresso, per una sola volta, viene letto il titolo della figura (ad esempio: "cerchio");
- se l'utente rimane per un tempo prolungato nella figura, viene letta anche la descrizione dettagliata della figura.

Partendo da queste linee guida, è possibile applicarle senza particolare sforzo tecnico a *Tiresia*. Difatti, il suono che identifica la fi-

gura viene autogenerato partendo da uno specifico suono che viene incrementato di frequenza, automaticamente, se sono presenti più forme geometriche nella figura. La descrizione è già presente come proprietà assegnabile dal redattore nella struttura JSON che definisce le figure usate da *Tiresia*: è possibile usare questo campo per emulare il comportamento del campo "titolo" o "descrizione" del progetto di Doore, previa progettazione e validazione con gli utenti.

La natura digitale del progetto *Tiresia* permette quindi un'estendibilità volta a renderlo utilizzabile in diversi ambiti.

Inoltre, è possibile aggiungere un feedback per i cambi di direzione presenti nel perimetro di una figura geometrica che, nel caso di figure geometriche notevoli, sono i vertici della figura; tra i vari feedback presenti in *Tiresia* vi è anche quello di "etichetta libera", che permette al redattore di assegnare un testo che viene letto quando l'utente esplora quel particolare punto. Il redattore può quindi descrivere questi punti come vertici, o in aggiunta, dare anche delle indicazioni legate alla posizione del vertice rispetto alla figura stessa (ad esempio: "Vertice alto").

Infine, per quanto concerne le piante schematiche, a mio avviso la miglior soluzione è l'importazione da un sistema esterno. È possibile, in ottica futura, valutare un'integrazione con il software *SIM* (Trinh et al., 2023), un progetto il cui obiettivo è produrre facilmente, tramite una *webapp*, delle piante schematiche tattili stampabili con stampanti Braille. Il software è quindi pensato appositamente per disegnare schemi distributivi di piante, con tutti

gli strumenti e gli accorgimenti necessari per un disegno accurato e in scala, i quali se integrati direttamente nel software complicherrebbero notevolmente l'interfaccia di *Tiresia Editor*; al contrario, *SIM* può esportare la pianta creata in formato SVG, rendendo possibile poi l'importazione in *Tiresia*.

Questa integrazione è in corso di analisi e permetterebbe il seguente flusso:

- creare inizialmente la pianta schematica in *SIM*
- importarla in *Tiresia Editor*
- arricchirla con i feedback specifici di *Tiresia*
- esportarla in formato JSON, pronta per essere caricata nell'app.

Verranno ora presentati alcuni esempi di figure esplorabili con *Tiresia*. A seconda del tipo di figura, valgono le specifiche considerazioni fatte in questo capitolo.

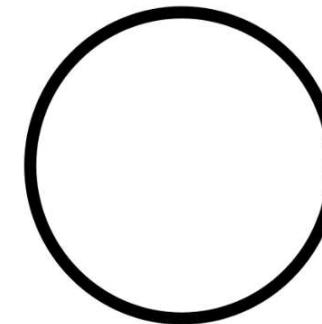
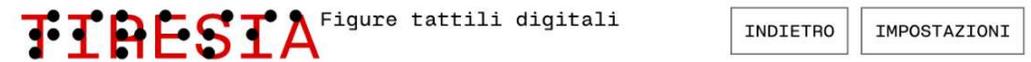
Le immagini presentate di seguito sono degli *screenshot* realizzati durante l'esplorazione delle figure con il software *Tiresia*, su smartphone iPhone 14 Pro.

6.1.3.1 Figura geometrica piana - cerchio

In questo file viene usato il campo “*description*” in riferimento alla figura generale e alla figura geometrica “interna” (quest'ultima indicazione viene letta quando l'utente entra nell'area della figura, in questo caso un cerchio).

Il cerchio (**Figura 10**) è un esempio di figura geometrica notevole; questa immagine vibrotattile potrebbe essere utilizzata nella scuola primaria, per apprendere la forma con una percezione “diretta”, cinestesica, in aggiunta alla descrizione verbale che descrive il profilo della stessa.

Il file che definisce la figura si trova al seguente indirizzo web: <https://tinyurl.com/f93jbus8¹>.



Un progetto chialab

Figura 10
Schermata dell'app *Tiresia* per l'esplorazione di figure vibrotattili. La figura mostrata rappresenta un cerchio.

¹ Si rimanda alla nota n.1

6.1.3.2 Figura geometrica piana - triangolo

In **Figura 11** è stato usato il feedback di “testo libero” (si veda il cap. 6.1.3) per segnalare i vertici del triangolo. Questa immagine vibrotattile, come altre figure geometriche piane (notevoli e non), può risultare di interesse per gli insegnamenti nella scuola primaria.

Il file che definisce la figura si trova al seguente indirizzo web: <https://tinyurl.com/f93jbus8>¹.

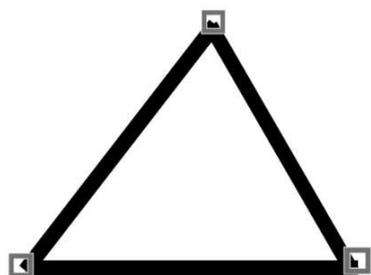


Figura 11

Schermata dell'app *Tiresia* per l'esplorazione di figure vibrotattili. La figura mostrata rappresenta un triangolo.

¹ Si rimanda alla nota n.1

6.1.3.2 Curva di funzione n. 1

Il file che definisce la figura si trova al seguente indirizzo web: <https://tinyurl.com/f93jbus8>¹.

La **Figura 12** non rappresenta una curva di una funzione matematica notevole, ed è molto simile alle curve mostrate durante gli esperimenti. In questo studio, essendo l'aspetto percettivo oggetto principale di indagine, si è deciso di presentare agli utenti delle curve senza un particolare significato analitico in modo da poter valutare isolatamente il riconoscimento, evitando *bias* dati da conoscenze pregresse.



Figura 12

Schermata dell'app *Tiresia* per l'esplorazione di figure vibrotattili. La figura mostrata rappresenta una curva di funzione.

¹ Si rimanda alla nota n.1

6.1.3.3 Curva di funzione n. 2

La curva raffigurata è stata generata in automatico inserendo l'espressione matematica "x⁴" tramite l'apposita funzionalità in *Tiresia Editor*. Nel campo "description" vi è un esempio di come il redattore può aiutare l'utente nell'esplorazione, ovvero segnalando la posizione del punto iniziale, che in questo caso risulta coincidente con l'angolo in alto a sinistra dello schermo.

Il file che definisce la figura si trova al seguente indirizzo web: <https://tinyurl.com/f93jbus8>¹.

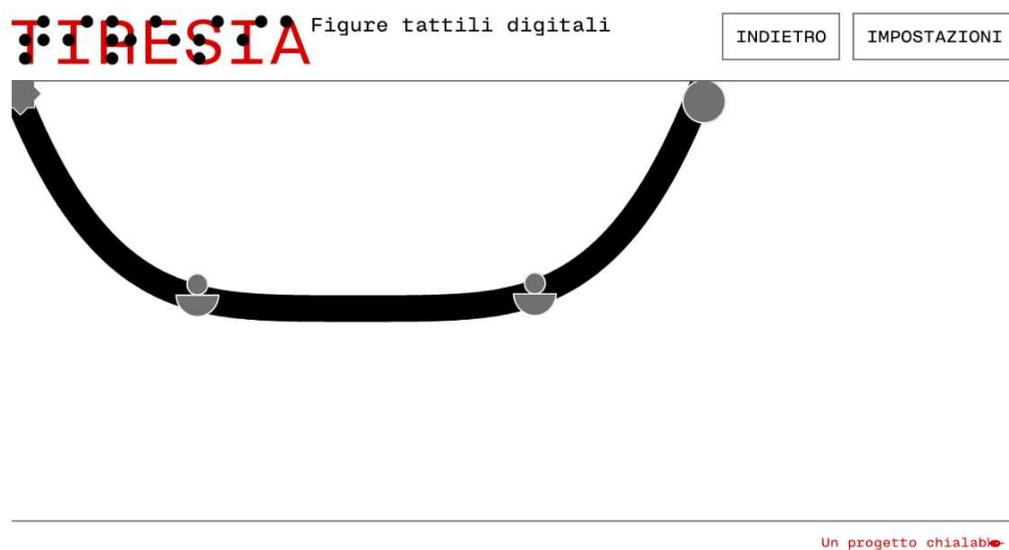


Figura 13
Schermata dell'app *Tiresia* per l'esplorazione di figure vibrotattili. La figura mostrata rappresenta una curva di una funzione matematica notevole.

¹ Si rimanda alla nota n.1

6.1.3.4 Pianta di un edificio

Un ipotetico file di grafica tattile che rappresenti un edificio o un'area pubblica potrebbe utilizzare i campi "title" e "description" per descrivere verbalmente la pianta stessa, ed eventualmente utilizzare il campo "description" del singolo oggetto "interno" per descrivere l'area specifica (la stanza, l'edificio, la zona d'interesse). I "contorni" delle varie aree – ovvero i tracciati, che in **Figura 14** risultano neri su sfondo bianco – verrebbero sempre segnalati con la vibrazione; in questo caso si potrebbero rappresentare i muri di un edificio, oppure con un'altra strategia, i percorsi per non vedenti presenti in un'area pubblica. I feedback di testo libero possono segnalare qualsiasi punto di interesse considerato importante per apprendere l'area.

Come già anticipato, il disegno della pianta schematica può provenire dall'applicativo *SIM*: di seguito viene mostrata nella **Figura 14** un esempio di come appare attualmente una pianta creata con questo strumento. Alla figura andrebbero integrati i simboli utilizzati in *Tiresia*.

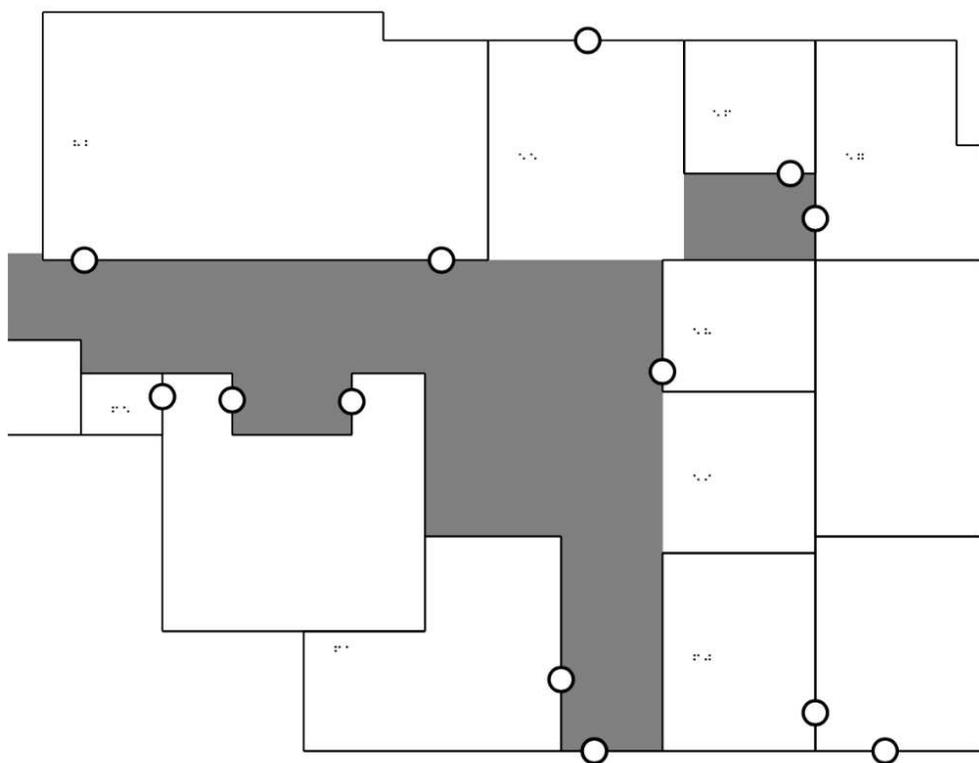


Figura 14
Un esempio di pianta schematica in formato SVG, stampabile con stampante Braille, generata dal software *SIM* nella sua versione del 2023.

Nella **Figura 14** i cerchi rappresentano le porte, mentre l'area in grigio scuro il corridoio. Le porte potrebbero venire rappresentate, nell'integrazione con *Tiresia*, con i feedback di "etichetta libera" leggendo il testo "Porta", magari descrivendone anche la tipologia: "Porta scorrevole", "Porta battente" ecc. Per differenziare le aree, così come già proposto per le figure di geometria piana, si potreb-

be indagare l'uso di diversi segnali audio con diversa frequenza, ogni volta che l'utente passa da un'area all'altra, e con la lettura di un testo descrittivo al primo ingresso nella nuova area.

6.2 Condividere grafiche tattili

Uno dei vantaggi principali che si ha nel concepire la grafica tattile come un file, ovvero una risorsa digitale, è la possibilità di condividerla in modo rapido e senza costi fra diversi utenti. Per favorire lo scambio e la ricerca di grafiche tattili già create in precedenza, è auspicabile la realizzazione di un sito archivio in cui raccogliere e presentare all'utente grafiche tattili di diverso tipo.

Una progettazione di base per questo scopo risiede nel definire le funzionalità che l'archivio deve proporre all'utente, fra le quali, verosimilmente, troviamo:

- la catalogazione di grafiche tattili con diverse proprietà ("metadati") fra cui titolo, descrizione, autore, categoria;
- la possibilità di aggiungere un sistema di voto per le grafiche, in modo da creare una valutazione che aiuti gli utenti nel capire quali grafiche, per lo stesso contenuto, siano preferibili;
- la ricerca di grafiche tattili in base ai metadati sopracitati;
- la visualizzazione ad elenco, con la possibilità di filtrare e ordinare le grafiche;
- la possibilità di richiedere una nuova grafica non presente in archivio;

- la possibilità di registrare un profilo utente in modo da organizzare la propria “libreria” di contenuti preferiti, che possono essere scaricati e utilizzati nel lettore di grafiche tattili, su smartphone o tablet.

Il software archivio (o “catalogo”) è strettamente legato ad altri due software, con i quali va a formare un sistema che abilita un flusso di fruizione dati dalla creazione all’utente finale.

Il sistema, denominato *Tiresia*, si compone dei seguenti software:

- *Tiresia Editor*, ovvero il software usato dai redattori per creare grafiche tattili;
- *Tiresia Archivio*, usato dagli utenti per cercare, scaricare nonché proporre nuove grafiche tattili;
- *Tiresia*, usato dagli utenti su tablet o smartphone per esplorare le grafiche tattili.

6.3 Creare grafiche tattili

Il software *Tiresia Editor*, nella versione disponibile al momento della stesura di questa tesi, permette la creazione di grafiche tattili disegnando le forme su un riquadro nella pagina, oppure generandole in automatico sulla base di un’espressione matematica inserita dall’utente.

A prescindere dalle due modalità di disegno, è l’utente (idealmente con ruolo di redattore) che procede manualmente nell’assegnare i vari simboli a determinati punti nella figura.

Nella **Figura 15** è rappresentata la fase di creazione di una TGs con *Tiresia Editor*. L’utente ha inserito i feedback di cambio di direzione, di inizio e di fine curva.



Figura 15

Schermata del software *Tiresia Editor*, in cui l’utente redattore ha realizzato il disegno di una curva vibrotattile, assegnando i simboli dei feedback in determinati punti del profilo della curva. A scopo esplicativo, in questa immagine i simboli sono stati posizionati nei pressi della curva, quando in realtà per una migliore esperienza di esplorazione andrebbero posizionati in sovrapposizione al profilo stesso (i punti segnalati dai simboli sono parte del tracciato).

Si notano i campi di testo con cui il redattore può specificare titolo e descrizione, i metadati che presentano la figura all'utente prima e durante l'esplorazione, con le modalità descritte nel capitolo 6.1.2 e 6.1.3.

Il risultato del lavoro di *editing* viene esportato in forma di file JSON, un file di testo da caricare nell'app. Il file di testo è facilmente modificabile con un qualsiasi *editor* di testo per quanto riguarda i campi che contengono linguaggio naturale (descrizione e testo). In futuro verranno sviluppate funzionalità aggiuntive, fra cui la possibilità di modificare con l'*editor* anche la parte grafica di un file già creato.

I tre componenti software che creano l'ecosistema *Tiresia* sono tre applicazioni web, utilizzate da diversi utenti con diversi scopi. Possiamo riepilogare il flusso con un esempio d'uso. Si ipotizza la necessità di due studenti non vedenti, di una scuola primaria di primo grado, nell'avere uno strumento che permetta loro di comprendere, "toccando con mano", la forma di un triangolo isoscele. Non è disponibile nell'immediato la possibilità di stampare per entrambi due figure in rilievo su carta o plastica, e l'insegnante si trova nella condizione di dover garantire, in breve tempo, un insegnamento paritario per tutta la classe. Si decide di utilizzare *Tiresia* poiché entrambi gli studenti possiedono uno smartphone e l'insegnante è disposto a realizzare la TGs richiesta, la quale non si trova disponibile (pronta all'uso) in *Tiresia Archivio*.

L'insegnante procede quindi con il collegarsi all'indirizzo web di *Tiresia Editor*, e utilizzando l'interfaccia disegna un triangolo isoscele a schermo. Aggiunge poi, tramite i bottoni appositi, tre etichette di "testo libero", una per ogni vertice, inserendo i seguenti

testi: "vertice alto", "vertice basso sinistro", "vertice basso destro". Conclude compilando i campi "titolo" e "descrizione" inserendo rispettivamente "Triangolo isoscele" e "Esplora la figura partendo dall'angolo in basso a sinistra". Infine, premendo il bottone "Esporta", viene automaticamente scaricato un file di testo che l'insegnante invia agli studenti (o in alternativa ai loro genitori). Gli studenti dovranno quindi scaricare l'app *Tiresia*, e una volta installata e configurata potranno caricare nell'app il file.

Quest'ultimo passaggio può essere realizzato in aula, in pochi minuti, oppure in modalità asincrona, da remoto, preferibilmente prima della lezione, in modo che i due studenti in aula possano poi fruire di uno strumento (tattile) che garantisce un apprendimento paragonabile a quello che i loro colleghi vedenti hanno utilizzando i libri di testo cartacei.

Il software *Tiresia Editor* ha un'interfaccia progettata per essere utilizzabile senza la consultazione di un manuale. È comunque disponibile un bottone che permette di visionare in ogni momento la legenda dei simboli disponibili, ognuno dei quali ha una propria semantica volta a segnalare determinati punti di interesse delle figure.

Inoltre, il caso d'uso sopracitato, in ottica futura, potrebbe semplificarsi dal punto di vista degli studenti e degli insegnanti nel caso in cui *Tiresia Archivio* contenga già la figura tattile desiderata.

L'obiettivo ultimo di questo progetto è di realizzare un sistema collaborativo in cui il catalogo venga alimentato da redattori professionisti e amatoriali, motivo per il quale è in programma la progettazione di un sistema di verifica delle figure. Al fine di rendere

il progetto una fonte di risorse didatticamente valide, è necessario coinvolgere partner e professionisti capaci di realizzare grafiche tattili e di verificarne, in modo semi-automatizzato, il valore didattico. Come già citato, un sistema di “recensioni” o di voto, in questo caso da parte degli utenti, potrebbe garantire un’ulteriore informazione utile nello scegliere fra più risorse simili per uno specifico contenuto.

6.4 Esplorare grafiche tattili

Tiresia è il nome dell’app sviluppata dall’autore durante questa ricerca, e che ha permesso lo svolgimento della fase sperimentale. Quella che viene qui descritta è la versione completa, mentre durante l’esperimento ne è stata utilizzata una versione in via di sviluppo: la componente “percettiva” è rimasta invariata così come tutta l’esperienza di esplorazione. Ciò che è stato migliorato, oltre all’aspetto grafico e all’accessibilità dell’interfaccia per utenti che usano *Screen Reader* e strumenti assistivi, sono la configurabilità e la possibilità di accedere a più grafiche tattili durante la stessa sessione di utilizzo.

Per quanto riguarda l’accessibilità, sono stati soddisfatti i criteri WCAG (<https://www.w3.org/TR/WCAG22>), definiti dal consorzio W3C, i quali descrivono le caratteristiche che un sito o una web app devono avere per poter essere utilizzabili da utenti con disabilità. In particolare, si è cercato di privilegiare il target di utilizzo di *Tiresia*, testando con utenti ciechi la compatibilità con strumenti assistivi come VoiceOver, lo *Screen Reader* disponibile nei dispositi-

tivi Apple. Sebbene *Tiresia* risulti, come prodotto finale, un’applicazione mobile, è stata sviluppata con tecnologie web. Da qui la motivazione nel migliorarne l’accessibilità seguendo i criteri sopracitati.

Due utenti non vedenti hanno testato l’ultima versione disponibile dell’applicazione, riuscendo a portare a termine tutti i compiti assegnati, fra i quali vi era la navigazione nelle diverse sezioni dell’app e il caricamento di un file di una TGs precedentemente scaricato nel dispositivo.

Questi test, gli ultimi effettuati informalmente prima della stesura di questa tesi, hanno permesso di modificare alcuni aspetti dell’interfaccia su suggerimento degli utenti. Ad esempio, nella **Figura 19** si può osservare la nuova disposizione dei bottoni (rispetto a quella visibile in altre immagini), i quali si trovano tutti in sequenza, orizzontalmente, nella parte bassa dello schermo. Questo, secondo gli utenti, aiuta a ritrovare i bottoni in una posizione familiare, poiché al giorno d’oggi diverse applicazioni posizionano i comandi principali in tale porzione di schermo. Inoltre, quando fra una schermata e l’altra alcuni bottoni non cambiano, è bene mantenerli nella stessa posizione rispetto agli altri, sempre per garantire un ritorno agevole ad un comando già noto.

La realizzazione di *Tiresia* come app mobile per dispositivi general-purpose permette, fra le altre cose, di usufruire di strumenti già disponibili nei sistemi operativi più noti, quali iOS e Android. Come sopracitato, VoiceOver è uno strumento che molti utenti ciechi e ipovedenti conoscono e usano quotidianamente; in particolare per gli utenti ciechi risulta necessario per utilizzare lo smartphone, poiché tramite diverse funzionalità, come la lettura

della selezione corrente nello schermo, l'audiolettura dei testi e la possibilità di spostarsi agevolmente fra i vari comandi, rende autonomi gli utenti nel praticare tutte le attività che il dispositivo permette.

A livello tecnico è quindi stato sufficiente realizzare *Tiresia* in accordo con i criteri di accessibilità del web: gli strumenti già noti e disponibili negli smartphone hanno reso l'app utilizzabile in autonomia dagli utenti, grazie all'esperienza pregressa di questi ultimi.

Al primo avvio dell'app vengono presentate una serie di domande che svolgono la funzione di *on-boarding*, per personalizzare *Tiresia* rispetto alle preferenze dell'utente. Fra le varie opzioni, all'utente è richiesto di tracciare con le dita un simbolo a schermo, in modo da calibrare lo spessore delle linee e dei bordi delle figure sulle base dell'ampiezza dell'area di contatto con lo schermo. Gran parte delle opzioni sono modificabili anche successivamente al primo accesso.

Oltre all'aspetto di configurabilità, ciò che *Tiresia* propone sono le seguenti funzionalità:

- esplorazione delle grafiche vibrotattili
- accesso rapido alle grafiche vibrotattili più recenti
- accesso rapido a *Tiresia Archivio*, per cercare e recuperare nuove grafiche tattili da caricare poi nell'app.

In via di sviluppo vi è anche una sezione "Tutorial" che permette all'utente di apprendere gli aspetti legati all'esplorazione delle grafiche, ovvero i feedback e la semantica ad essi collegata. Questa sezione rende l'utente autonomo nell'apprendimento dell'app. Allo stesso modo, il collegamento già citato con *Tiresia Archivio* permette all'utente di recuperare nuove grafiche autonomamente senza richiedere assistenza.

Di seguito vengono mostrate alcune immagini (figure n. 16-20) dell'app *Tiresia*, installata su un iPhone 14 Pro. Le immagini mostrano, tra le altre cose, i diversi temi colore che l'utente ipovedente può impostare in base alle proprie preferenze e necessità (tema chiaro, tema medio, tema scuro).

Benvenuto in Tiresia

Ti faremo alcune domande per configurare al meglio il tuo Lettore di figure tattili digitali.

Tutte le scelte che farai potranno essere modificate in seguito dalle Impostazioni.

AVANTI

Un progetto chialab

Figura 16
Schermata "di benvenuto" del software *Tiresia*.

Traccia il segno "X" sullo schermo, poi clicca su "Avanti"



AVANTI

Un progetto chialab

Figura 17
Schermata del software *Tiresia* in cui si chiede all'utente di tracciare un segno sullo schermo, per recuperare le dimensioni dell'area di contatto.

Inizia caricando una figura dal tuo dispositivo o cercane una su Tiresia Archivio

CARICA UN FILE

CERCA SU TIREZIA ARCHIVIO

ESERCITATI

Figura 18

Schermata principale del software Tiresia (tema colore medio).

Inizia caricando una figura dal tuo dispositivo o cercane una in Tiresia Archivio

CARICA UN FILE

CERCA IN TIREZIA

IMPOSTAZIONI

ESERCITATI

Figura 19

Schermata principale del software *Tiresia*, tema colore scuro, con un'altra possibile disposizione dei bottoni dopo un confronto con utenti con disabilità visiva.

Figure recenti



Cerchio
Ultimo accesso: 18/7/2023, 15:56



x^4
Ultimo accesso: 18/7/2023, 15:55



Figura 3
Ultimo accesso: 18/7/2023, 15:55

CARICA UN FILE

CERCA SU TIRESIA ARCHIVIO

ESERCITATI

Un progetto chialab

Figura 20
Schermata principale del software *Tiresia*, con le figure più recentemente esplorate dall'utente.

6.5 Applicazioni

Durante l'esperimento pilota, e in maggior numero durante l'esperimento principale, sono emersi diversi spunti applicativi da parte dei soggetti. Le richieste e i pareri hanno permesso di costruire un insieme di funzionalità che non è solo un elenco di miglioramenti applicativi: alcune delle proposte possono avere ricadute anche sulla fase esplorativa, riguardo all'aspetto percettivo, e possono fornire spunti per ulteriori studi in questo ambito.

In questo capitolo si è cercato di organizzare e riportare in maniera strutturata le richieste, integrate con aspetti più tecnici da parte dell'autore.

6.5.1 Integrazione degli assi cartesiani

L'integrazione di un piano cartesiano consiste nell'aggiungere, nei lati inferiore e sinistro dello schermo, due assi cartesiani attorno alla figura, la quale va quindi semanticamente collocata in un singolo quadrante del piano. Tale integrazione potrebbe aumentare la complessità dell'esplorazione, ma allo stesso tempo potrebbe guidare ad una comprensione metrica delle distanze delle entità presenti in figura, nonché aiutare nello studio di concetti matematici.

Non si esclude la possibilità di mostrare non solo un quadrante (ad esempio il quadrante in alto a destra nella **Figura 21**, che comprende solo valori positivi) ma tutto il piano cartesiano (in **Figura 21** tutti e quattro i quadranti): in tal caso l'origine degli assi si troverebbe al centro dello schermo. Ciò darebbe più libertà esplorativa ma ri-

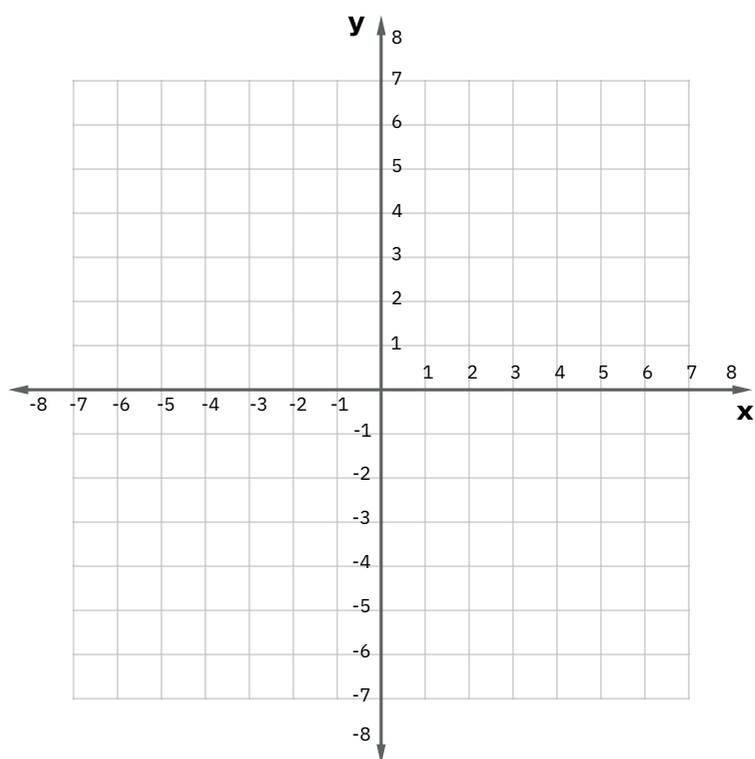


Figura 21.
Piano cartesiano.

chiederebbe anche di diminuire la dimensione degli elementi da mostrare (ad esempio lo spessore delle linee, le distanze fra valori negli assi), e potrebbe portare a problemi all'aspetto percettivo.

Entrambe le progettazioni risultano a mio avviso valide, per cui sarebbe auspicabile effettuare dei test coinvolgendo gli utenti finali, per trovare il miglior compromesso tra complessità d'uso ed efficacia dello strumento nella comprensione di concetti matematici.

Un'altra proposta è stata quella di integrare degli assi cartesiani in modo graduale con un tutorial ad-hoc, riproducibile a richiesta dell'utente. Il tutorial potrebbe guidare l'utente nel toccare la parte di schermo comprendente gli assi, emettendo il feedback scelto, e chiedere all'utente eventualmente di configurare alcuni aspetti. In generale è emerso il desiderio di integrare la presenza degli assi a discrezione degli utenti, come funzionalità opzionale richiamabile da un menù.

Durante l'esplorazione, ogni volta che l'utente incontra l'asse cartesiano, verrebbe riprodotto un suono di cui andrebbe scelta non soltanto la frequenza, ma anche la durata e valutare una differenziazione fra asse delle ordinate e delle ascisse. Un diverso feedback sonoro potrebbe essere emesso in corrispondenza dell'origine degli assi.

Infine, un'altra integrazione aggiuntiva, a prescindere dall'attivazione degli assi, è la lettura con sintesi vocale delle coordinate cartesiane di un punto, che si attiva su richiesta dell'utente. L'utente può richiedere di leggere il valore delle ascisse e delle ordinate del punto in cui si trova, con una *gesture* che in tutta l'applicazione assolve unicamente a quella funzione, ad esempio il doppio "tap".

Rendere questa funzionalità non legata alla presenza degli assi può garantire un livello di complessità configurabile da ogni utente, secondo le proprie esigenze.

Entrambe queste funzionalità possono aiutare ad avere un'esplorazione più legata all'aspetto metrico e ai concetti matematici, migliorando potenzialmente l'uso del prototipo in ambito didattico.

6.5.2 Configurazione e impostazioni

Le richieste in questo ambito possono essere suddivise da un lato in proposte di miglioramento nell'emissione e nella scelta dei feedback usati e dall'altro in proposte riguardo al flusso utente e all'*on-boarding* nell'applicazione.

Per quanto riguarda la prima casistica, si elencano alcune delle richieste più comuni:

- fare in modo che la vibrazione venga riprodotta anche durante l'esplorazione del punto iniziale e finale, dove al momento viene soltanto riprodotta la sintesi vocale: questo è importante perché i due punti sono parte della figura, e andrebbero trattati anche con il feedback vibrotattile come il resto della stessa. La stessa richiesta si applica ai punti di interesse;
- il suono della tecnica S (ovvero quello emesso per lo spazio bianco dell'interfaccia) sarebbe utile incorporasse una funzionalità in stile "sonar" o più semplicemente che cambiasse di intensità o volume a seconda che l'utente si avvicini o si allontani dalla figura. Questo aiuterebbe nel capire "di quanto" l'utente si è allontanato dal tracciato;
- evitare che si sovrappongano la riproduzione del suono di spazio bianco con la vibrazione, in alcune casistiche in cui l'utente si muove velocemente dentro e fuori la figura – quindi ridurre il "lag" (ritardo) attualmente presente, per favorire esplorazioni più rapide mantenendo un sistema di feedback reattivo;
- il profilo della curva risulta troppo sottile per un'esplorazione agevole;

- i feedback nei punti di interesse potrebbero essere ancora più precisi, senza sfociare troppo nella descrizione didascalica della figura;
- il suono della tecnica LA potrebbe risultare fastidioso per chi utilizza un apparecchio acustico;
- si potrebbe indagare l'uso dell'audio spaziale;
- si potrebbe indagare l'uso di un suono ad-hoc per indicare l'esplorazione in una area interna ed esterna in una figura geometrica piana;
- va ridotto lo spessore della cover, in particolare al momento si crea uno spazio eccessivo tra cover e schermo del tablet, che può portare a dei problemi durante l'esplorazione.

Per quanto riguarda invece l'aspetto di configurabilità, una delle proposte più interessanti è stata quella di cambiare lo spessore delle linee. Questo aspetto è fondamentale durante l'esplorazione: uno spessore troppo grande, rispetto all'area di contatto delle dita dell'utente, può portare a pensare che eventuali movimenti non rettilinei della curva siano dovuti all'andamento della stessa, quando invece sarebbero semplicemente dei movimenti dell'utente all'interno dell'area del profilo della linea.

Se invece il profilo è troppo sottile rispetto alle dita dell'utente, il problema sopracitato non si presenta ma allo stesso tempo l'utente può uscire spesso dal tracciato, con il risultato che non solo l'esplorazione diventa problematica e frustrante, ma l'utente può inoltre crearsi un'immagine mentale errata di una figura con un tracciato spezzettato piuttosto che uniforme. Nonostante in un recente studio (Gorlewicz et al., 2020) risulti di quattro millimetri

lo spessore consigliato, ho notato dagli esperimenti come questo valore vada sempre calcolato, se possibile, sulla base delle dimensioni dell'area di contatto dell'utente con lo schermo.

La proposta per ovviare a questo problema non è soltanto quella di rendere questo, così come altri parametri, richiamabili e configurabili dalle impostazioni dell'applicazione, quanto di impostarla in modo agevole durante il *setup* iniziale, proponendo un sistema di *on-boarding* in cui l'utente previa risposta ad alcune domande può personalizzare l'applicazione secondo le proprie necessità.

Entrando nell'aspetto tecnico, queste sono alcune delle proposte possibili:

- al primo avvio, richiedere all'utente quale tipo di disabilità visiva ha (ad esempio se è ipovedente o cieco totale): nel primo caso, richiedere se si preferisce un certo "tema" di colori piuttosto che un altro, nell'ottica di garantire una figura visibile in alto contrasto rispetto allo sfondo, e permetterne una visione, sebbene parziale, durante l'esplorazione (si veda la **Figura 19**);
- impostare dei temi e altre impostazioni ad-hoc, in automatico, se l'utente dà l'indicazione della propria disabilità ma non è sicuro delle scelte da prendere nella configurazione;
- chiedere all'utente, all'avvio, di tracciare con il proprio dito delle linee sullo schermo (si veda la **Figura 17**); il sistema può così rilevare la dimensione dell'area di contatto e stimare uno spessore ideale per il tracciato delle figure. L'utente può sempre modificarlo a piacere dalle impostazioni. Se l'utente non riesce a portare a termine

l'operazione, si opta per il valore già citato di quattro millimetri, che l'utente può modificare in seguito;

- proporre all'utente la scelta fra alcuni suoni per indicare lo spazio bianco e per i punti di interesse quali i cambi di direzione.

Altre proposte, non strettamente legate all'esperienza di esplorazione, riguardano il flusso per recuperare le figure da esplorare nell'applicativo. Alcuni utenti hanno manifestato interesse nell'avere la possibilità di scaricare da Internet, direttamente sul proprio dispositivo, le figure da un *marketplace* o sito di condivisione. Ovvero, offrire non solo la possibilità di caricare un file già disponibile dal proprio tablet o smartphone ma anche un collegamento diretto al sito da cui recuperare il file.

Un'altra proposta è stata quella di rendere modificabile la figura a schermo. Questo tipo di funzionalità aggiunge una complessità notevole al progetto, non solo realizzativa ma anche riguardo all'utilizzo finale dell'utente. È altresì da riportare come sia più semplice, a mio avviso, integrare la possibilità di disegnare una figura a schermo partendo da una schermata vuota.

Con questo strumento, integrato nell'applicativo, si potrebbe avere subito un feedback tra studente e docente dopo l'esplorazione della figura, per capire se lo studente ha compreso la figura e, in caso, quale aspetto vada chiarito. Questa funzionalità, in cui non necessariamente si richiede di persistere il tracciato dell'utente, risulta più facilmente integrabile e, potenzialmente, di notevole beneficio didattico.

6.5.3 Oltre un dispositivo per l'apprendimento

Uno degli aspetti più interessanti emersi durante gli esperimenti è a mio avviso la versatilità dello strumento proposto, che ha stimolato diversi soggetti nel proporre idee di utilizzo che esulano dagli scopi didattici prettamente legati all'analisi matematica.

I docenti dell'Istituto Cavazza di Bologna, nonché alcuni studenti, hanno ad esempio proposto un utilizzo nella scuola primaria per l'apprendimento di figure geometriche piane. Altri ancora hanno pensato di rendere esplorabile una versione semplificata della tavola periodica, utilizzando etichette di testo libero e sfruttando l'aspetto cinestesico del prototipo per memorizzare posizioni e distanze degli elementi fra loro.

Alcuni utenti hanno portato l'idea di versatilità ancora oltre, pensando ad un utilizzo informativo, in mobilità dal proprio smartphone o tablet, per apprendere la pianta schematica di luoghi pubblici. Alcuni esempi di contenuti sono una stazione di treni, i luoghi di interesse di una città, i percorsi per non vedenti di un determinato quartiere e la pianta di un aeroporto.

Per questo obiettivo, è necessario modificare il software di creazione TGs (*Tiresia Editor*) per permettere l'introduzione di etichette libere da parte dei creatori. Ovvero, fare in modo che determinate sezioni della figura siano collegate a delle etichette contenenti testo libero, inseribile dal redattore.

Si potrebbero aggiungere etichette che leggano all'utente "servizi pubblici", piuttosto che "stazione di polizia", o "centro assistenza", ad esempio in un aeroporto. L'utente potrebbe così, in anticipo,

avere un'idea generica della posizione e delle distanze di alcuni punti di interesse in un'area che visiterà di lì a poco. Si rimanda al capitolo 6.1.3.4 in cui si propone l'integrazione con un sistema che potenzialmente può garantire la trasformazione, in file, di piante schematiche tattili inizialmente disponibili come rappresentazioni vettoriali. Questo garantirebbe una trasposizione fedele delle distanze e delle dimensioni in scala.

Inoltre, l'idea di incorporare delle etichette, leggibili dalla sintesi vocale e "libere" rispetto a quelle attualmente presenti (cioè "cambio di direzione", punto di minimo, di massimo ecc.) è emersa anche in un'altra ottica: un paio di utenti hanno proposto di aggiungere la possibilità di inserire, da parte dell'utente stesso, delle annotazioni durante l'esplorazione. Si tratta di una sorta di evidenziazione dei punti di interesse, da persistere una volta conclusa l'esplorazione.

L'utente potrebbe così creare dei riferimenti personali e ritrovarli (e magari condividerli con altri utenti) nelle esplorazioni successive.

La natura digitale del progetto, le figure come file e la tecnologie web permettono una gestione in linea con quella che gli utenti conoscono usando Internet: ovvero non soltanto una mera fruizione dei contenuti, ma anche creazione e condivisione degli stessi. Gli utenti che hanno avuto la possibilità di provare il prototipo hanno intrinsecamente percepito queste possibilità e proposto delle funzionalità che sono il naturale sviluppo del progetto iniziale.

Alcune delle funzionalità sopra elencate sono già in fase di progettazione e di realizzazione.

6.5.4 Una cover 3D per esplorare grafiche tattili

In seguito all'esperimento pre-pilota realizzato presso l'Istituto dei Ciechi Cavazza, durante il questionario per raccogliere pareri generali sull'esperienza di tracciamento, è emersa la necessità di delimitare, al tatto, i confini "attivi" dello schermo.

Inoltre, è emerso come gli utenti cerchino in diversi modi di creare il proprio punto di riferimento cinestesico: alcuni hanno utilizzato il pollice, tenuto fermo in posizione centrale rispetto al tablet, e stimato le distanze a partire da questo; altri hanno utilizzato entrambe le mani come riferimento cinestesico. In generale, si è compresa l'importanza nel dare un punto di riferimento per i quattro lati del tablet e per i rispettivi punti centrali.

Dopo un confronto con gli utenti, è emerso come il piano in gomma fosse utilizzato dalla maggior parte degli studenti ciechi fin dall'infanzia, sia in scuole statali che in istituti specializzati. Il piano in gomma è uno strumento che permette di disegnare su un particolare supporto in plastica; il disegno tracciato è immediatamente percepibile al tatto, in rilievo sulla superficie (Del Zozzo & Santi, 2023, p. 74).

Il piano in gomma è spesso corredato da una cornice con punti e linee in rilievo: rappresenta un piano cartesiano, e nella cornice i punti simboleggiano le decine e le linee rappresentano le unità.

Si è deciso di ri-utilizzare questo tipo di simbologia e una semantica simile per permettere agli utenti di avere un riferimento simile ad uno già noto: è stata quindi realizzata una cover ad-hoc per il tablet usato nell'esperimento principale, grazie alla collaborazio-

ne con Martina Bresciani, laureata all'università IUAV di Venezia in Design del Prodotto.

La progettazione si è svolta presso il Laboratorio Strumentale Didattica dello IUAV. Tramite il software *Rhinceros*, e partendo dalle specifiche del tablet in uso, è stato creato un file 3D (che verrà in futuro rilasciato gratuitamente con licenza *open source*) dal quale si è poi realizzata la stampa 3D della cover in *PLA*. Si è cercato di rendere il modello compatibile con la maggior parte dei dispositivi tablet Android con schermo di dimensione otto pollici; grazie a questo file è possibile con costi relativamente bassi stampare una serie di cover che permettono un'esperienza di tracciamento più guidata.

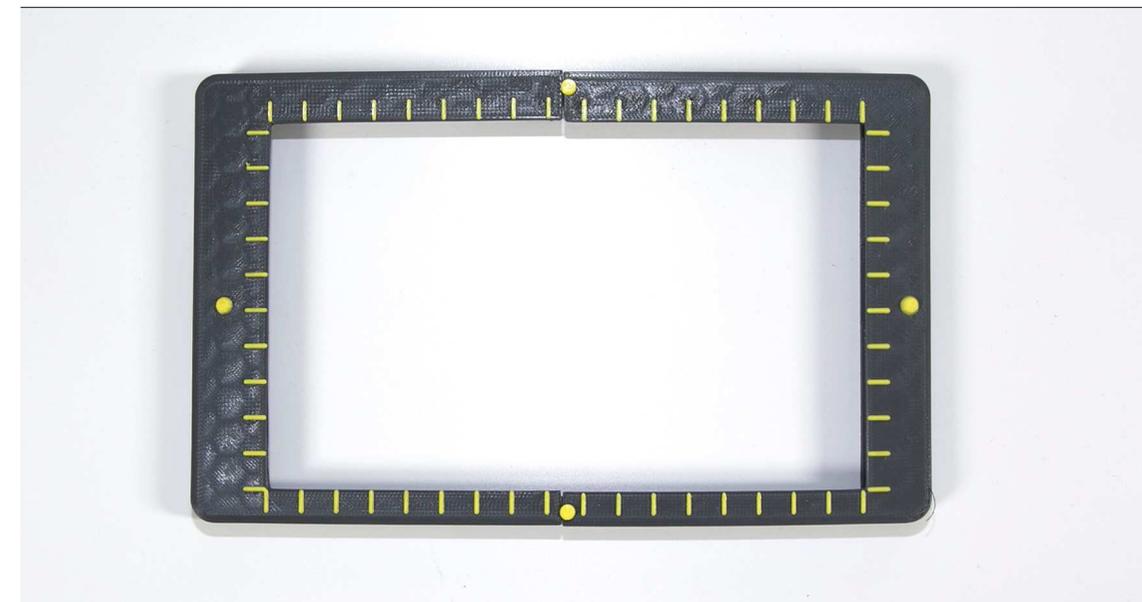


Figura 22

Fotografia della cover tattile 3D. I pin in rilievo di forma cilindrica indicano il punto centrale del lato, mentre i rialzamenti a "stanghette" indicano le unità di un piano cartesiano. La progettazione si ispira al piano in gomma.

La cover non è necessaria all'esplorazione, è possibile usare l'interfaccia software sul tablet anche senza di essa, facendo attenzione che l'utente riesca sempre a capire dove inizia e finisce lo schermo e che il tablet non scivoli sulla superficie su cui è appoggiato.

Gli utenti in genere riescono comunque a crearsi un proprio sistema di riferimento in autonomia, anche senza l'ausilio della cover, la quale però sembra facilitare e velocizzare il processo di "auto-orientamento".

7 Conclusioni

In questa ricerca l'obiettivo principale è capire come migliorare il riconoscimento di linee curve in ambito di esplorazione di TGs su dispositivi touchscreen general-purpose. Durante i vari esperimenti sono emerse alcune criticità e diverse richieste da parte degli utenti, che hanno portato a nuove ipotesi e indagini. In questo capitolo vengono riportati i risultati scientifici, i contributi tecnologici originali e alcuni suggerimenti sugli sviluppi futuri che possono ampliare la conoscenza riguardo all'esplorazione di grafiche vibrotattili.

7.1 Risultati scientifici

In letteratura non si trovano precedenti, per questo specifico ambito, in cui è stata integrata la sintesi vocale: in questa ricerca l'uso di tale feedback è stato indagato sperimentalmente su dispositivi touchscreen general-purpose.

Come dettagliato nel capitolo 4.4.4, i risultati scientifici ottenuti riguardo alla tecnica con sintesi vocale, complice anche il numero ridotto di soggetti, non hanno rilevanza statistica. Non vi sono state evidenze di un miglioramento dei tempi di esplorazione né delle performance nel riconoscimento delle figure usando la sintesi vocale rispetto al feedback sonoro: entrambe le soluzioni hanno dato risultati paragonabili per le variabili sopracitate (si veda cap. 4.4.4.2 e 4.4.4.3).

Inoltre, è stata scientificamente indagata l'inclusione di un suono per segnalare lo "spazio bianco" dell'interfaccia; in alcuni studi era già stato ipotizzato che questa indicazione avrebbe potuto aiutare gli utenti e sarebbe stata preferita rispetto all'assenza di un feedback specifico. In questa ricerca si è ottenuta una conferma di tale ipotesi, con il 67% degli utenti a favore dell'inclusione contro il 33%, valori risultati statisticamente significativi dalle analisi effettuate (p value = 0.018, test χ^2 goodness of fit).

Come riportato nel capitolo 5.3, riguardo alla segnalazione dello spazio bianco, è possibile indagare su diversi fronti in modo più approfondito: in questa ricerca si è voluto ottenere una prima conferma che apre la strada a indagini che si collocano nell'ambito dell'Ingegneria Informatica, del Design delle interfacce utente e del Sound Design.

Questa ricerca, come da progetto iniziale, si inserisce in una serie di studi che diversi ricercatori, tra cui Gorlewicz e Giudice (2020) hanno iniziato dal 2012 e con i quali è stata costruita una base di conoscenza per le interfacce vibrotattili su dispositivi general-purpose.

I risultati di questa tesi vanno ad integrare i lavori sopracitati, in particolare i dati derivanti dalla prima sperimentazione con sintesi vocale e quelli riguardanti la preferenza degli utenti verso l'uso di un feedback sonoro per lo spazio bianco.

Questo studio ha inoltre nuovamente confermato l'indicazione che i progettisti dovrebbero collaborare con gli utenti non vedenti per produrre figure vibrotattili volte alla migliore comprensione possibile degli aspetti pedagogici prefissati. Come già citato, questa collaborazione è importante per la creazione di figure nei libri

tattili per non vedenti; parimenti, dai risultati del capitolo 4.4.4.3, emerge come una grafica tattile, se non progettata a dovere, possa portare ad una difficile comprensione delle relazioni spaziali. In questa ricerca, una delle figure usate negli esperimenti è stata progettata e considerata "simile" in difficoltà alle altre: i dati derivanti dai test con gli utenti sembrano indicare il contrario, e la collaborazione con utenti ciechi avrebbe presumibilmente reso la progettazione più mirata, individuando gli aspetti della figura più ostici per l'esplorazione tattile rispetto a quelli visibili.

7.2 Contributo tecnologico originale

Durante questa ricerca è stato sviluppato dall'autore un sistema software completo che permette la manipolazione di grafiche vibrotattili in formato JSON. Il sistema, chiamato *Tiresia*, è composto da tre sottosistemi: due siti web e un'app mobile.

Nel dettaglio, sono stati sviluppati: un sito in cui sono elencate le grafiche disponibili, un sito usato per crearne di nuove, ed infine l'app mobile tramite cui esplorarle su tablet o smartphone.

Di interesse per la comunità scientifica e informatica, nonché per coloro che lavorano a strumenti assistivi per non vedenti e ipovedenti, è la definizione JSON (*JSON-Schema*), ovvero come tecnicamente sono strutturati i file di testo che descrivono le grafiche vibrotattili; questa struttura è fondamentale per supportare tutte le funzionalità del software *Tiresia*. Verrà pubblicata con licenza *open source* in seguito alla discussione della tesi di Dottorato (si veda il

capitolo 6.1.2) e sarà liberamente utilizzabile e adattabile a specifiche esigenze di progetto, quindi potenzialmente anche ad altri software diversi da *Tiresia*.

Come anticipato nel capitolo 3.5, nel mercato attuale e in letteratura non si trovano riferimenti ad ecosistemi software con le caratteristiche di *Tiresia*, che possano essere fruiti su un hardware general-purpose già in possesso dalla maggior parte degli utenti con disabilità visiva. *Tiresia* è disponibile sia per i dispositivi Android sia per quelli Apple, a differenza di altri progetti, e si basa su tecnologie standard e recenti, rendendo gli utenti autonomi nell'uso del software grazie agli strumenti assistivi già presenti nei dispositivi in uso (come gli *Screen Reader*) e offrendo la possibilità di integrare sistemi di terze parti.

Il progetto è in fase di completamento, con iterazioni continue di verifica con utenti ciechi e ipovedenti. Si prospetta di commercializzare e rendere pubblico l'ecosistema nei mesi successivi alla discussione di Dottorato; non sono ancora state definite le modalità di commercializzazione, e non si esclude di distribuire in modo gratuito o con licenza *open source* parte dell'ecosistema software.

7.3 Sviluppi futuri

Oltre agli sviluppi futuri suggeriti nel capitolo 5.3, sono diversi gli spunti che emergono da questa ricerca e che possono aprire la strada ad altri studi. In particolare, si potrebbero ripetere i test qui presentati andando ad effettuare indagini con un numero maggiore di utenti o con un *target* specifico in base all'obiettivo pedagogico o al grado scolastico.

Partendo da un recente studio di Doore (2023) potrebbe essere interessante estendere lo stato attuale del progetto nei seguenti modi:

- esplorazione di una singola figura geometrica piana, utilizzando i feedback di *Tiresia* ed aggiungendo gradualmente i feedback specificati nella strategia di esplorazione di Doore (si veda capitolo 6.1.3);
- esplorazione di più figure e linee nella stessa grafica vibrotattile;
- esplorazione di più figure piane nella stessa grafica vibrotattile;
- esplorazione di figure geometriche piane con dei vertici;
- esplorazione di piante schematiche tattili o di figure complesse in cui sono presenti diverse aree da segnalare all'utente;
- indagare la segnalazione di un'area interna ad una figura, con proposte originali non derivanti da studi pregressi.

Infine, va tenuto in considerazione il progresso tecnologico che nel campo dei dispositivi general-purpose touchscreen è in continuo mutamento: eventuali miglioramenti al motore aptico e alle caratteristiche degli schermi touchscreen potrebbero abilitare nuove funzionalità per un'interfaccia vibrotattile. Si consiglia, quindi, di osservare gli sviluppi del mercato, per recepire il prima possibile tutti quegli avanzamenti tecnologici che possono avere ricadute sugli aspetti applicativi e percettivi di un sistema vibrotattile come quello proposto in questo studio.

Riconoscimenti

Lavorare a questa tesi mi ha portato, nei tre anni appena trascorsi, a confrontarmi e a collaborare con diverse persone e istituzioni. Ogni incontro mi ha dato nuove conoscenze, consapevolezza e punti di vista. Ci tengo a ringraziare, quindi, chiunque abbia reso possibile questo lavoro.

Ringrazio il Dott. Andrea Piovesan, per il supporto fondamentale nelle fasi di analisi statistica dei dati sperimentali; l'Arch. Fabio Fornasari, il Dott. Nicholas Giudice, la Dott.ssa Jenna Gorlewicz e l'Arch. Paola Bucciarelli per la loro disponibilità al confronto riguardo agli strumenti assistivi per non vedenti; la Prof.ssa Riccini, la Prof.ssa Fagnoni e il Prof. Sinico per il supporto nella definizione del disegno sperimentale e in generale per il supporto metodologico durante il percorso di ricerca; il Prof. Spagnol per avermi aiutato nell'esplorazione del mondo del *additive sound design*.

Ringrazio Martina Bresciani per la sua disponibilità e professionalità nell'aiutarmi a realizzare la cover 3D tattile; il Dott. Roberto Manduchi per la possibilità di collaborare assieme verso un'integrazione di *Tiresia* con *SIM*, e per il confronto riguardo alle piante schematiche vibrotattili; il Prof. Beppe Chia, per aver da subito accolto la mia idea di progetto e supportato, assieme a tutti i soci e dipendenti di Chialab, tutte le fasi del progetto di ricerca.

Ringrazio tutti i ragazzi e ragazze, ciechi, vedenti e ipovedenti, che hanno partecipato alle fasi sperimentali e che hanno fornito il loro fondamentale apporto esperienziale al progetto.

Ringrazio inoltre l'Istituto dei Ciechi Cavazza, il cui team docenti mi ha dato la possibilità di presentare il mio progetto davanti alle classi di studenti dei corsi professionalizzanti; e mi hanno supportato nella fase progettuale, con suggerimenti oculati ed esperti. Ringrazio anche Informatici Senza Frontiere, l'Unione Ciechi e Ipovedenti di Pesaro e il Laboratorio Polin, per essersi resi disponibili per una fase futura del progetto, in cui vi sarà necessità di formare redattori e utenti all'uso del software.

Infine, alcune menzioni particolari: a Luca Bartolucci che mi ha aiutato in una fase delicata, preliminare degli esperimenti, provando "sul campo" le prime versioni del prototipo, e ai miei compagni di corso, fra cui Manuel Zanettin in particolare, per essere stati un supporto costante durante gli anni di ricerca.

Un grazie anche al Prof. Perondi, al Prof. Bernardis e al Prof. Ciamaichella per il fondamentale aiuto in tutte le fasi della ricerca, dai primi passi nell'apprendere le basi del metodo scientifico fino alle fasi finali del raccontare, in modo critico e obiettivo, il lavoro svolto in questi anni.

Riferimenti bibliografici

Audiofunctions.Web (n.d.).

<http://www.integr-abile.unito.it/audiofunctions.web/>

Bredmose, A., Grangaard, S., Lygum, V. L., & Hansen, A. R. (2023).

Mapping the importance of specific physical elements in urban space for blind and visually impaired people.

Journal of Urban Design, 28(2), 139–154. <https://doi.org/10.1080/13574809.2022.2097862>

Brent, E., & Leedy, P. D. (1990). Practical Research: Planning

and Design. *Teaching Sociology*, 18(2), 248. <https://doi.org/10.2307/1318509>

Brixius, F. L., Selbach, H. V., & Marcuzzo, P. (2022). *ENGLISH*

TEACHING FOR BLIND STUDENTS: ADAPTATION

SUGGESTIONS FOR DIDACTIC ACTIVITIES OF A TEXTBOOK

[Preprint]. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4455>

Butler, M., Holloway, L. M., Reinders, S., Goncu, C., & Marriott, K. (2021). Technology Developments in Touch-Based

Accessible Graphics: A Systematic Review of Research 2010-2020. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on*

Human Factors in Computing Systems, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3411764.3445207>

Carbon, C.-C. (2013). BiDimRegression: Bidimensional

Regression Modeling Using R. *Journal of Statistical Software*, 52(Code Snippet 1). <https://doi.org/10.18637/jss.v052.c01>

Case, A., & Day, A. (2018). *Designing With Sound: Fundamentals for*

Products and Services. O'Reilly & Associates Inc.

Choi, S., & Kuchenbecker, K. J. (2013). Vibrotactile Display:

Perception, Technology, and Applications. *Proceedings of the IEEE*, 101(9), 2093–2104. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2221071>

Daengsi, T., Chatchalermpon, S., Praneetpolgrang, P., &

Wuttidittachotti, P. (2020). A Study of 4G Network

Performance in Thailand Referring to Download Speed.

2020 IEEE 10th Symposium on Computer Applications & Industrial Electronics (ISCAIE), 160–163. <https://doi.org/10.1109/ISCAIE47305.2020.9108819>

Darras, B., & Valente, D. (2010). Tactile images—Semiotic

reflections on tactile images for the blind. *Haptic International Journal*, 1.

De Rijke, V. I. F. (2018). A juxtaposition of signifiers: Radical

collage in children's literature. *Journal of Literary Education*, 1, 26. <https://doi.org/10.7203/JLE.1.11471>

Deflorio, D., Di Luca, M., & Wing, A. M. (2023). Skin properties and

afferent density in the deterioration of tactile spatial acuity with age. *The Journal of Physiology*, 601(3), 517–533. <https://doi.org/10.1113/JP283174>

- Del Zozzo, A., & Santi, G. (2023). L'inclusione in matematica come differenziazione per tutti e per ciascuno: Un'interpretazione semiotica. *Caminhos Da Educação Matemática Em Revista*.
- Dias, M. B., Rahman, M. K., Sanghvi, S., & Toyama, K. (2010). Experiences with lower-cost access to tactile graphics in India. *Proceedings of the First ACM Symposium on Computing for Development - ACM DEV '10*, 1. <https://doi.org/10.1145/1926180.1926193>
- Doore, S. A., Dimmel, J., Kaplan, T. M., Guenther, B. A., & Giudice, N. A. (2023). Multimodality as universality: Designing inclusive accessibility to graphical information. *Frontiers in Education*, 8, 1071759. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1071759>
- Feelif (n.d.). <https://www.feelif.com/>
- Feelif Creator (n.d.). <https://www.feelif.com/feelif-creator/>
- Ferdinando Auricchio, Alessandro Greco, Gianluca Alaimo, Valentina Giacometti, Stefania Marconi, & Valeria Mauri. (2017). 3D Printing Technology for Buildings' Accessibility: The Tactile Map for MTE Museum in Pavia. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 11(8). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2017.08.002>
- Fitzpatrick, D., & McMullen, D. (2008). Distance Learning of Graphically Intensive Material for Visually Impaired Students. In K. Miesenberger, J. Klaus, W. Zagler, & A. Karshmer (Eds.), *Computers Helping People with Special Needs* (Vol. 5105, pp. 219–225). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-70540-6_32
- Giudice, N. A., Palani, H. P., Brenner, E., & Kramer, K. M. (2012). Learning non-visual graphical information using a touch-based vibro-audio interface. *Proceedings of the 14th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - ASSETS '12*, 103. <https://doi.org/10.1145/2384916.2384935>
- Gorlewicz, J. L., Tennison, J. L., Uesbeck, P. M., Richard, M. E., Palani, H. P., Stefik, A., Smith, D. W., & Giudice, N. A. (2020). Design Guidelines and Recommendations for Multimodal, Touchscreen-based Graphics. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 13(3), 1–30. <https://doi.org/10.1145/3403933>
- Goyzueta, D. V., Guevara M., J., Montoya A., A., Sulla E., E., Lester S., Y., L., P., & C., E. S. (2022). Analysis of a User Interface Based on Multimodal Interaction to Control a Robotic Arm for EOD Applications. *Electronics*, 11(11), 1690. <https://doi.org/10.3390/electronics11111690>
- Griffin-Shirley, N., Banda, D. R., Ajuwon, P. M., Cheon, J., Lee, J., Park, H. R., & Lyngdoh, S. N. (2017). A Survey on the Use of Mobile Applications for People who Are Visually Impaired. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 111(4), 307–323. <https://doi.org/10.1177/0145482X1711100402>
- Internet Engineering Task Force. (2018). *The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format*. <https://tools.ietf.org/html/rfc7159>

- Johnson, N., Yeh, T., & Cunningham, A. (2022). Low-Cost Tactile Coloring Page Fabrication on a Cutting Machine: Assembly and user experiences of cardstock-layered tangible pictures. *The 24th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/3517428.3551353>
- Karaduman, H., Alan, Ü., & Yiğit, E. Ö. (2023). Beyond “do not touch”: The experience of a three-dimensional printed artifacts museum as an alternative to traditional museums for visitors who are blind and partially sighted. *Universal Access in the Information Society*, 22(3), 811–824. <https://doi.org/10.1007/s10209-022-00880-0>
- Klatzky, R. L., Giudice, N. A., Bennett, C. R., & Loomis, J. M. (2014). Touch-Screen Technology for the Dynamic Display of 2D Spatial Information Without Vision: Promise and Progress. *Multisensory Research*, 27(5–6), 359–378. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002447>
- Kouroupetroglou, G., Martos, A., Papandreou, N., Papadopoulos, K., Argyropoulos, V., & Sideridis, G. D. (2016). Tactile Identification of Embossed Raised Lines and Raised Squares with Variable Dot Elevation by Persons Who Are Blind. In K. Miesenberger, C. Bühler, & P. Penaz (Eds.), *Computers Helping People with Special Needs* (Vol. 9759, pp. 77–84). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41267-2_11
- Ladner, R. E., Slabosky, B., Martin, A., Lacenski, A., Olsen, S., Groce, D., Ivory, M. Y., Rao, R., Burgstahler, S., Comden, D., Hahn, S., Renzelmann, M., Krisnandi, S., & Ramasamy, M. (2005). Automating tactile graphics translation. *Proceedings of the 7th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility - Assets '05*, 150. <https://doi.org/10.1145/1090785.1090814>
- Lewis, L., Sharples, S., Chandler, E., & Worsfold, J. (2015). Hearing the way: Requirements and preferences for technology-supported navigation aids. *Applied Ergonomics*, 48, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.11.004>
- Loomis, J. M., & Lederman, S. J. (1986). *Tactual Perception*. John Wiley & Sons.
- Mandanici, M., Rodà, A., Canazza, S., & Cavagnoli, G. (2018). Following the Cuckoo Sound: A Responsive Floor to Train Blind Children to Avoid Veering. In B. Guidi, L. Ricci, C. Calafate, O. Gaggi, & J. Marquez-Barja (Eds.), *Smart Objects and Technologies for Social Good* (Vol. 233, pp. 11–20). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76111-4_2
- Manduchi, R., & Kurniawan, S. (Eds.). (2018). - Sensory Substitution of Vision: Importance of Perceptual and Cognitive Processing. In *Assistive Technology for Blindness and Low Vision* (0 ed., pp. 179–210). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315216935-12>
- Munari, B. (1997). *Da cosa nasce cosa*.

- Novus Access & Ivy Tech Comm College, Isaacson, M., Supalo, C., Independence Science, Michaels, M., Novus Access, Roth, A., & Pleasant Schools, Whiteland, IN. (2016). An Examination of Accessible Hands-on Science Learning Experiences, Self-confidence in One's Capacity to Function in the Sciences, and Motivation and Interest in Scientific Studies and Careers. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 19(1), 68–75. <https://doi.org/10.14448/jsesd.09.0005>
- Palani, H., & Giudice, N. A. (2014). Evaluation of non-visual panning operations using touch-screen devices. *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility - ASSETS '14*, 293–294. <https://doi.org/10.1145/2661334.2661336>
- Palani, H. P., Giudice, G. B., & Giudice, N. A. (2018). Haptic Information Access Using Touchscreen Devices: Design Guidelines for Accurate Perception of Angular Magnitude and Line Orientation. In M. Antona & C. Stephanidis (Eds.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Methods, Technologies, and Users* (Vol. 10907, pp. 243–255). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92049-8_18
- Palani, H. P., & Giudice, N. A. (2017). Principles for Designing Large-Format Refreshable Haptic Graphics Using Touchscreen Devices: An Evaluation of Nonvisual Panning Methods. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 9(3), 1–25. <https://doi.org/10.1145/3035537>
- Serrano-Mira, J., Gual-Ortí, J., Bruscas-Bellido, G., & Abellán-Nebot, J. V. (2017). Use of additive manufacturing to obtain moulds to thermoform tactile graphics for people with visual impairment. *Procedia Manufacturing*, 13, 810–817. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.113>
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Sheppard, & Aldrich. (2001a). Tactile graphics in school education- perspectives from pupils. *British Journal of Visual Impairment*, 19(2). https://doi.org/10.1177_026461960101900204
- Sheppard, & Aldrich. (2001b). Tactile graphics in school education- perspectives from teachers. *British Journal of Visual Impairment*, 19(3). https://doi.org/10.1177_026461960101900303
- Tekli, J., Issa, Y. B., & Chbeir, R. (2018). Evaluating touch-screen vibration modality for blind users to access simple shapes and graphics. *International Journal of Human-Computer Studies*, 110, 115–133. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.10.009>
- Tennison, J. L., & Gorlewicz, J. L. (2019). Non-visual Perception of Lines on a Multimodal Touchscreen Tablet. *ACM Transactions on Applied Perception*, 16(1), 1–19. <https://doi.org/10.1145/3301415>

Tennison, J. L., Uesbeck, P. M., Giudice, N. A., Stefik, A., Smith, D. W., & Gorlewicz, J. L. (2020). Establishing Vibration-Based Tactile Line Profiles for Use in Multimodal Graphics. *ACM Transactions on Applied Perception*, 17(2), 1–14. <https://doi.org/10.1145/3383457>

Trinh, V., Manduchi, R., & Giudice, N. A. (2023). Experimental Evaluation of Multi-scale Tactile Maps Created with SIM, a Web App for Indoor Map Authoring. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 16(2), 1–26. <https://doi.org/10.1145/3590775>

Urbas, R., Qualizza, N., Pavlović, Ž., & Elesini, U. S. (2016). *PRODUCTION OF TACTILE ILLUSTRATIONS*. 7.

Vital (n. d.). <https://www.vital.education/>

W3C. (2011, August 16). <https://www.w3.org/TR/SVG11/intro.html>. SVG 1.1 Definition. *Journal of Visual Impairment*, 19(3). https://doi.org/10.1177_026461960101900303

WebAIM (2019). Screen Reader User Survey #8 Results. <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey8>

