

Michele Tittarelli



IL DESIGN
PER L'INTERAZIONE
TANGIBILE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

DOTTORATO DI RICERCA IN
Informatica, Sistemi e Telecomunicazioni

Indirizzo in Telematica e Società dell'Informazione

CICLO XXVIII

COORDINATORE Prof. Luigi Chisci

IL DESIGN PER L'INTERAZIONE TANGIBILE

Settore Scientifico Disciplinare ING/INF 05

Dottorando
Dott. Michele Tittarelli

Tutore
Prof.ssa Patrizia Marti

Coordinatore
Prof. Luigi Chisci

Anni 2012-2015

Bisogna inventare nuove tecniche - che siano irriconoscibili - che non assomiglino a nessuna operazione precedente. Per evitare così la puerilità e il ridicolo. Costruirsi un mondo proprio, con cui non siano possibili confronti. Per cui non esistano precedenti misure di giudizio. Le misure devono essere nuove, come la tecnica. Nessuno deve capire che l'autore non vale nulla, che è un essere anormale, inferiore - che come un verme si contorce per sopravvivere. Nessuno deve coglierlo in fallo di ingenuità. Tutto deve presentarsi come perfetto, basato su regole sconosciute, e quindi non giudicabili. Come un matto, sì, come un matto. Vetro su vetro, perché Pietro non è capace di correggere - ma nessuno se ne deve accorgere. Un segno dipinto su un vetro corregge senza sporcarlo un segno dipinto prima su un altro vetro. Ma tutti dovranno credere che non si tratti del ripiego di un incapace, di un impotente: bensì che si tratti invece di una decisione, sicura, imperterrita, alta e quasi prepotente [...] Nessuno deve sapere che un segno riesce bene per caso. Per caso, e tremando: e che appena un segno si presenta, per miracolo, riuscito bene, bisogna subito proteggerlo e custodirlo come in una teca. Ma nessuno, nessuno deve accorgersene. L'autore è un povero tremante idiota. Una mezza calzetta. Vive nel caso e nel rischio, disonorato come un bambino. Ha ridotto la sua vita alla malinconia ridicola di chi vive degradato dall'impressione di qualcosa di perduto per sempre.

Pasolini, P. P. *Teorema*, 1968.

a Nino e Misa

Indice

Struttura

6 - 7

Introduzione

8 - 13

Tangible User Interfaces

Stato dell'arte
TUIs per la visualizzazione 2D e 3D
TUIs per la pianificazione, il problem solving e la simulazione
TUIs per l'apprendimento
TUIs per la musica e la performance
TUIs per la comunicazione

14 - 31

32 - 41

Strumenti e tecnologie per le TUIs

Modello bidimensionale
Modello integrato
Modello morfico

42 - 77

Design case 1

Paper 1
Paper 2
Paper 3

78 - 107

Design case 2

Paper 4
Paper 5

Riflessioni e conclusioni

108 - 112

Pubblicazioni

113

Bibliografia

Ringraziamenti

114 - 118

119

Struttura

La ricerca, svolta nell'ambito dell'interaction design, è rivolta a dare una risposta alle ipotesi che ci eravamo posti all'inizio del nostro lavoro.

In particolare, i quesiti erano: è possibile, attraverso gli strumenti e le metodologie offerte dall'interaction design, utilizzare forme di comunicazione non-verbale che conducano alla creazione di dinamiche di interazione più ricche e coinvolgenti? E' possibile attraverso il design creare forme di relazione che siano contraddistinte da qualità espressive ed emozionali?

Abbiamo trovato nelle Tangible User Interfaces (o TUIs) lo "strumento" che ci ha permesso di creare, attraverso il design, un collegamento possibile fra il mondo digitale e quello fisico e nell'interazione continua (*continuous interaction*) l'approccio che ci ha permesso di concretizzare una modalità di interazione espressiva e coinvolgente.

Attraverso la nostra trattazione descriveremo come abbiamo applicato questi due paradigmi e i risultati che abbiamo ottenuto.

Introduzione

L'introduzione fornisce un quadro generale delle problematiche, delle metodologie di design e del background teorico che hanno fatto parte del nostro lavoro di ricerca nel campo delle interfacce tangibili e, più in generale, nel campo dell'interaction design. Chiarisce inoltre gli approcci metodologici e teorici che ci hanno permesso di dare una risposta concreta alle domande della nostra ricerca.

Stato dell'arte

La definizione dello stato dell'arte nel campo delle TUIs è stata di fondamentale importanza perché ha permesso di evidenziare, attraverso l'esame di esempi molto diversi tra loro, gli aspetti positivi e i limiti delle soluzioni di design, degli approcci teorici e delle tecnologie attualmente adottate. A tale scopo, pertanto, si è proceduto alla ricostruzione delle TUIs che sono state progettate per diversi campi applicativi, che spaziano dall'ambito educativo a quello della performance musicale. Questo lavoro tuttavia non si è risolto solamente nell'analisi delle ricerche compiute, ma si è tradotto operando da progettisti "prototipatori", sperimentando concretamente alcune delle soluzioni tecnologiche e di design documentate in letteratura. Tutto ciò ci ha permesso di comprendere quali siano le possibili soluzioni per ottenere risultati qualitativi estetici e innovativi.

Modelli di TUIs

Mediante l'identificazione di tre "modelli", elaborati a partire da quelli esistenti, abbiamo cercato di concettualizzare i diversi approcci progettuali che la ricerca nel campo delle interfacce tangibili ha proposto nell'ultimo decennio. In questo modo abbiamo tentato di tener conto del carattere "eterogeneo" delle TUIs che, sia per le tecnologie applicate che per le tipologie di interazione, si prestava a differenti "categorizzazioni". Questa parte si è rivelata di fondamentale importanza per determinare le direzioni e i confini della nostra ricerca e per identificare le tipologie di TUIs in cui si collocano i due Design case proposti.

Design case

Il lavoro di ricerca è illustrato attraverso due Design case (pp. 42 e 78) nei quali sono indicate soluzioni innovative sia nelle modalità di interazione che nel design formale dei prototipi. Tali soluzioni sono state adottate, da un lato attraverso l'utilizzo di materiali e tecnologie innovative (modellazione 3D e produzione additiva) e dall'altro attraverso l'uso di materiali "poveri" e strumenti *open-source* (cartone multistrato, software e hardware open-source). I Design case che ne sono scaturiti sono accompagnati da cinque *peer reviewed papers* che riassumono gli aspetti concettuali e teorici che stanno alla base delle soluzioni d'interazione progettate. Ogni Design case è preceduto da una introduzione che sintetizza, e al tempo stesso integra, ognuno dei papers presentati. Le introduzioni comprendono:

- Il contesto applicativo, che descrive l'ambito in cui i progetti sono stati sviluppati.
- L'ipotesi di ricerca, che illustra gli approcci utilizzati nella progettazione del design dell'interazione.
- L'ispirazione che espone il processo di genesi e di ideazione delle soluzioni adottate.
- Le interfacce tangibili che delinea le caratteristiche delle TUIs progettate e ne chiarisce la collocazione rispetto ai tre "modelli" di TUIs proposti.
- Il prototipo che evidenzia le soluzioni progettuali, le tecniche, le metodologie e gli strumenti impiegati per realizzare i prototipi.
- La sperimentazione e la valutazione, che richiama le sperimentazioni e gli studi che sono stati condotti per valutare la qualità delle soluzioni progettuali.

Ogni paper è introdotto da una breve descrizione e, dove è stato possibile, da un codice QR e URL che permette di accedere ai contenuti multimediali relativi ai progetti.

Riflessioni e conclusioni

Nella parte conclusiva viene proposta una riflessione generale sul lavoro svolto, dove vengono richiamati i risultati ottenuti dalla nostra ricerca e le possibili direzioni e problematiche che il design delle TUIs si troverà ad affrontare in futuro.

Infine, ci sembra opportuno precisare che abbiamo preferito, in questa trattazione, focalizzare la nostra attenzione unicamente sul lavoro svolto nell'ambito delle interfacce tangibili. Durante il periodo di Dottorato infatti abbiamo avuto l'opportunità di lavorare in altre aree tematiche dell'interaction design come, ad esempio, la sperimentazione di nuove soluzioni di design nell'ambito delle installazioni interattive. I risultati di queste ricerche, svolte parallelamente al lavoro sulle interfacce tangibili, sono confluiti in *peer reviewed journal* e articoli pubblicati su atti di conferenze internazionali che sono riportati nell'elenco delle pubblicazioni.

Introduzione

All'inizio di questo lavoro ci siamo posti alcuni interrogativi che sono inevitabili nel campo di ricerca individuato.

In particolare ci siamo domandati se fosse possibile, attraverso gli strumenti e le metodologie offerte dall'interaction design, creare dinamiche d'interazione più ricche e coinvolgenti. Altresì ci siamo chiesti se fosse possibile, attraverso il design, creare forme di relazione contraddistinte da qualità espressive ed emozionali.

Per rispondere a questi interrogativi abbiamo condotto la nostra ricerca nell'ambito delle Tangible User Interfaces (o TUIs), in quanto ci avrebbero permesso di creare, attraverso il design, un collegamento "tangibile" fra il mondo fisico e quello digitale.

Ma cosa sono le Tangible User Interfaces?

Secondo Shaer e Hornecker (2010, p. 4) le TUIs sono quegli oggetti "aumentati" che forniscono allo user una rappresentazione tangibile dei controlli e delle informazioni digitali e che gli consentono di "afferrare il dato" con le proprie mani. Ullmer e Ishii (2000) invece le identificano con quegli oggetti che danno una forma fisica all'informazione digitale fornendo un "loop ciclico" costituito da feedback "fisici" (feedback tattili passivi che informano lo user quando una manipolazione è stata portata a termine come, ad esempio, la deformazione di un oggetto) e feedback "digitali" (feedback visivi o sonori che informano lo user che l'azione è stata elaborata).

Queste definizioni, per quanto corrette, tuttavia sono troppo essenziali per identificare la vera natura delle TUIs, poiché possono essere estese a un larghissimo numero (e di diverse tipologie) di *device* elettronici che utilizziamo tutti i giorni. Appunto per questo, come riconoscono gli stessi Shaer e Hornecker (2010 p. 22), risulta difficile definire, fra la molteplicità di oggetti che ci circondano e che integrano componenti elettroniche, quale di essi sia una TUI o quale sia una "TUI-like".

Con ciò non intendiamo asserire che le loro definizioni siano poco specifiche; intendiamo piuttosto evidenziare che, dato il carattere eterogeneo che contraddistingue le TUI, ci siamo sentiti indotti ad "indagare" quali fossero le caratteristiche che possono distinguere una TUI rispetto ad un "oggetto aumentato".

In prima istanza, abbiamo pensato che la differenza potesse essere ricondotta alle modalità d'interazione con cui lo user può agire sull'artefatto. Quest'ultimo (sia esso oggetto, dispositivo, etc.) nelle TUIs "interpreta" sia la funzione di rappresentazione sia quella di controllo dell'elaborazione del dato (Ullmer e Ishii, 2001). In questo senso abbiamo notato che esiste una, seppur lieve, differenza tra la "modifica" e la "manipolazione" del dato.

Mentre la modifica del dato suggerisce diverse modalità d'interazione che possono essere correlate anche al paradigma WIMP (*Windows, Icons, Menu e Pointers*), la manipolazione, in questo ambito, indica un legame più stretto con il materiale, con la forma dell'artefatto e presume l'uso di determinate abilità manuali. La *manipulation* di un oggetto (ci riferiamo qui alla definizione in lingua inglese), secondo l'utilizzazione che ne viene fatta nella letteratura relativa alle TUIs, sembra infatti suggerire che l'artefatto stesso implichi modalità d'interazione che richiedono una particolare abilità (in proposito cf. *Oxford English Dictionary*: "to handle, esp. with skill or dexterity; to turn, reposition, reshape, etc.. manually or by means of a tool or a machine"); oppure che l'oggetto stesso abbia la capacità di modificare la sua struttura (*reshape*) coerentemente con l'azione esercitata.

Sulla base di questa osservazione abbiamo tentato di trasporre il concetto di "manipolazione" nel design delle TUIs che abbiamo progettato.

Ne sono risultate modalità d'interazione in grado di consentire allo user di esprimere le

proprie abilità sia attraverso il corpo, sia attraverso modalità basate su di un *coupling* "perfetto" tra l'azione esercitata e la risposta del sistema.

In particolare, con il Design case 2 (p. 78), abbiamo proposto un'attività basata sulla performance musicale dove è possibile, mediante l'"uso" del corpo e delle mani, creare una composizione musicale interagendo con degli strumenti realizzati in cartone e stoffa. In questo caso il sistema fa delle abilità dello user, un elemento focale dell'interazione perché, se da un lato gli strumenti sono facilitati (col fine di renderli accessibili a tutti), dall'altro lato richiedono una minima abilità per produrre un suono gradevole nel momento in cui si suona con gli altri "musicisti".

Attraverso il Design case 1, (p. 42), abbiamo proposto una cover interattiva per tablet che consente di creare un *coupling* "perfetto" tra il gesto esercitato dallo user e la risposta dell'artefatto. A tale scopo siamo ricorsi al *reshape* (ci riferiamo sempre alla definizione in lingua inglese) utilizzando dei materiali che permettono alla cover di deformarsi coerentemente con gli input esercitati dallo user.

Tuttavia, anche con questi accorgimenti, è evidente che il confine fra modificazione e manipolazione risulta piuttosto labile se non adeguatamente interpretato. Perciò non si può asserire che, mentre nel paradigma WIMP avviene una modificazione del dato (ad esempio digitando, spostando o selezionando le icone di una GUI stando seduti di fronte ad un PC), con le TUIs avviene invece una manipolazione che implica un coinvolgimento del corpo più "attivo" o che richiede particolari abilità o l'utilizzo di materiali "specifici".

Anche nel paradigma WIMP avviene la "manipolazione" di un artefatto come, ad esempio, nell'utilizzo del mouse (*to handle*). L'uso corrente della parola manipolare, (ci riferiamo sempre alla lingua inglese e alla letteratura di riferimento), non riesce dunque ad interpretare pienamente l'interazione che avviene con una TUI che, solitamente, permette di esercitare azioni più articolate rispetto al paradigma WIMP.

In linea di principio, infatti, il mouse è un elemento fisico che utilizziamo per controllare un dato digitale (in input) e al quale sono associati diversi feedback: quello tattile (la risposta meccanica del tasto), quello sonoro (il "click") e quello visivo (la rappresentazione del puntatore nella GUI e lo spazio entro cui lo muoviamo). Osservando queste caratteristiche, potremmo affermare che, almeno per quanto riguarda i feedback tattili e sonori, anche il mouse può essere definito un'interfaccia tangibile. Eppure, dal nostro punto di vista, non riteniamo che il mouse rappresenti una vera e propria TUI, perché le azioni e la gestualità che compiamo nell'utilizzarlo non ci appaiono intuitive, significative o espressive. I gesti ed i meccanismi percettivi che poniamo in essere per interagire con questo strumento (e di conseguenza con il modello WIMP) non sono correlati al significato "profondo" dell'azione che esercitiamo. Il "gesto", in questo caso, si riduce a mero input funzionale, che relega a un "semplice click" la ricchezza espressiva che appartiene al corpo o, più specificamente, alla mano.

Abbiamo allora rivolto l'attenzione al design delle TUIs cercando di realizzare modalità d'interazione di tipo continuo (*continuous interaction*), ovvero modalità di input che potremmo definire di tipo "non binario". Doherty e Massink descrivono l'interazione continua come quel "processo continuo di scambio di informazioni ad un alto livello di risoluzione" (1999, p. 1). Questa modalità d'interazione presuppone quindi un *coupling* estremamente preciso fra l'azione esercitata e la risposta di un sistema. Per chiarirne il concetto abbiamo pensato di trasporre questo paradigma in un esempio pratico.

Quando vogliamo attirare l'attenzione di una persona che ci volge le spalle, senza far ricorso alla voce, possiamo agire in due maniere: battendo due veloci colpi sulla spalla oppure stringendo lievemente il suo braccio. Nel primo caso utilizziamo un "input" molto simile a quello di tipo binario, dove al contatto corrisponde un "1" e all'intervallo fra i due contatti uno "0". Lo stesso avviene, per così dire, quando utilizziamo il mouse dove, cliccando velocemente per due volte il tasto sinistro, riusciamo ad attivare una determinata funzione del

nostro PC (come ad esempio accedere al contenuto di una cartella). In tal caso l'input che esercitiamo rappresenta una codifica, un gesto che abbiamo appreso, che quindi non deriva da una nostra volontà espressiva, ma da un comportamento mediato da una "convenzione". E non è un caso che utilizziamo questa "modalità" d'interazione quando desideriamo richiamare l'attenzione di persone con le quali abbiamo poca o nessuna confidenza.

Quando invece stringiamo il braccio di una persona, riusciamo ad esprimere, e a percepire, informazioni molteplici e ben più "significative". Nell'esercitare una maggiore o minore pressione con le nostre dita riusciamo, ad esempio, a comunicare la maggiore o minore urgenza del nostro "richiamo". Possiamo inoltre percepire (e al contempo far percepire) una serie di informazioni che non sono affatto scontate.

Quando stringiamo il braccio di un corpo "altro" i nostri sensi recepiscono un'ampia quantità di "dati": la temperatura di un corpo, il materiale e la fattura di una stoffa, la maggiore o minore muscolatura della persona, etc. Questo tipo d'interazione attua una relazione molto più espressiva e, insieme, permette di veicolare molte più informazioni.

L'ambiente che esploriamo attraverso il gesto non si compone di soli "corpi": in esso ci misuriamo anche con entità fisiche inanimate (come gli oggetti) che, nel tempo, abbiamo saputo trasformare in "strumenti". Se dunque la relazione non avviene solo tra corpi, ma anche tra il corpo e gli "oggetti", è lecito asserire che si genera una dialettica nella relazione che abbiamo con essi, che esprimiamo attraverso il gesto. Mentre nell'animale gesto e utensile si fondono, diventando strumento, nell'uomo questo rapporto si amplia, emancipando il gesto dal suo status di "costrizione funzionale" (Galimberti, 1987).

Perché dunque relegare la gestualità del corpo e tutta la sua ricchezza di significati alla semplice pressione sequenziale di un tasto così come avviene nel paradigma WIMP? Pensiamo che questa domanda sintetizzi una problematica relativa all'estetica dell'interazione e fa comprendere le qualità di una "*continuous interaction*" rispetto ad una "*discrete interaction*" (Rogers and Muller, 2006).

Seguendo il paradigma di interazione continua abbiamo proposto un design che permettesse di colmare il divario che esiste tra gli "stati discreti" del mondo digitale e la "continuità della nostra percezione ed esperienza" (Stienstra et al., 2012). A tale scopo ci siamo avvalsi di metodologie, sia software che hardware, che ci hanno consentito di "rappresentare" tutta la ricchezza dell'esperienza del tangibile "piegando" un sistema discreto (digitale) a quella percezione continua che è propria dell'umano.

Nel Design case 1, ad esempio, abbiamo realizzato una GUI per un tablet con il quale è possibile controllare i movimenti di un robot assistivo (p. 44). L'interfaccia grafica mostra gli stati emotivi del robot attraverso l'utilizzo di "maschere dinamiche". Queste immagini, realizzate mediante tecniche di *morphing video*, vengono riprodotte in rapida successione determinando un passaggio da un'espressione all'altra, che risulta molto naturale (pp. 65-70). Come vedremo, i sensori che abbiamo realizzato appositamente per la cover, ci hanno permesso di creare una TUI contraddistinta da un *mapping* molto preciso fra l'input esercitato dallo user e l'output del sistema dove, ad un'azione espressiva, corrisponde un "feedback espressivo" (Wensveen, 2005).

Il metodo realizzativo che abbiamo adottato è abbastanza semplice ma si è rivelato molto efficace nel suo risultato (Marti et al., 2013). Abbiamo infatti interpretato il "discreto" pensandolo come un proiettore per diapositive in cui, premendo un tasto, è possibile scorrere da una immagine all'altra e lo abbiamo "trasformato" in una bobina cinematografica dove la proiezione di una sequenza di immagini (proiettate ad una frequenza di 24 fotogrammi al secondo e oltre) genera un "effetto" che il nostro occhio percepisce come "in movimento". Dalla staticità della fotografia si è quindi passati alla dinamicità del cinema che riesce a riprodurre gesti e movimenti che ci appaiono più reali. Non è un caso allora che i due "archetipi" utilizzati per la fotografia (proiettore per diapositive) ed il cinema (proiettore cinematografico) siano basati su due modalità d'interazione diverse: per il primo si ricorre alla

pressione di un tasto, per il secondo un movimento continuo.

E' quindi l'atto espressivo che ci porta a sviluppare sempre nuove tecnologie in grado di catturarlo o, al contrario, è la tecnologia "nuova" che ci consente di creare nuovi atti espressivi?

Crediamo che questa relazione sia biunivoca e che non preveda un punto di partenza ma che comporti un continuo scambio tra i due elementi. Tuttavia, pensiamo che l'azione del corpo abbia una prelazione, che ci sia un suo "prius" rispetto alla soluzione tecnologica. Questo risultato è emerso dal lavoro che abbiamo svolto nella nostra ricerca dove a volte, anche forzatamente, si è cercato di non partire dal mezzo, dalla tecnologia o da una tecnica, ma da un concept, da un gesto, dall'umano. Se infatti è lecito lasciarsi tentare dallo sperimentare o dal realizzare modalità d'interazione sfruttando una determinata nuova tecnologia che la rivoluzione digitale ci propone con sempre maggiore frequenza, tuttavia crediamo fermamente che, nella progettazione dell'interazione, si debba partire dal corpo perché ad esso si deve arrivare (Tittarelli, 2011).

In questa ottica, possiamo asserire che una TUI rappresenti non solo un mezzo con il quale, attraverso le nostre mani, possiamo interagire "verso" il digitale ma anche uno strumento che, al contempo, permette di interagire "con" il digitale. Le TUIs infatti forniscono allo user la possibilità di percepire, attraverso feedback visivi, tattili e sonori, il modo in cui interagisce con il dato digitale nello stesso "spazio" e nello stesso "tempo" in cui l'azione viene esercitata. Ma quali sono le caratteristiche di un feedback qualitativo?

Wensveen et al. (2004) distinguono tre diversi tipi di feedback: quello funzionale (la risposta di una o più funzionalità di un sistema), quello aumentato (una risposta addizionale veicolata dal sistema) e quello inerente (una risposta derivante dall'azione esercitata dallo user). Gli autori a riguardo forniscono un esempio molto chiaro: quando accendiamo uno schermo, il feedback funzionale consiste nell'attivazione del dispositivo stesso che, attraverso feedback visivi e sonori, ci informa che l'azione compiuta ha trovato esecuzione nel sistema. Il feedback aumentato può essere rappresentato dal LED interno del tasto, il quale fornisce una risposta che non proviene dall'azione stessa ma che deriva da una sorgente "aggiuntiva" del sistema.

Il feedback inerente, invece, è strettamente correlato al movimento che esercitiamo; ad esempio, attraverso la resistenza offerta dal tasto stesso, percepiamo che l'azione che stiamo eseguendo sta intervenendo sul sistema. Per questo Laurillard (1993) definisce il feedback inerente come un'informazione che è una "naturale conseguenza dell'azione" che esercitiamo, e in cui la risposta del sistema deriva dal movimento compiuto. Quest'ultima tipologia quindi fa leva sulle abilità percettivo-motorie del nostro corpo più che sulle sue abilità cognitive come avviene, ad esempio, nei primi due tipi di feedback (funzionale e aumentato).

Nella nostra ricerca sulle TUIs abbiamo cercato di utilizzare le caratteristiche del feedback inerente, poiché sono legate alla materialità di un oggetto e alle sue proprietà meccaniche, piuttosto che ad una sua "rappresentazione".

Ad esempio nel Design case 1 abbiamo realizzato, attraverso tecniche di produzione additiva (stampa 3D), una cover per tablet realizzata in materiale gommoso (p. 48) che si deforma in base alla forza che lo user esercita sul prototipo. Questo ci ha permesso non solo di realizzare una TUI in cui il *coupling* tra l'azione esercitata dallo user e la risposta funzionale e aumentata del sistema (GUI del tablet) sono perfettamente accoppiate, ma anche di aggiungere un feedback inerente determinato dall'utilizzo di un materiale specifico. Il materiale stesso ci ha consentito quindi di uscire da quel rapporto biunivoco che si genera fra input e feedback aggiungendo un terzo elemento nell'interazione che, nello stesso tempo e nello stesso spazio dell'azione, informa lo user sul modo in cui sta intervenendo sul dato. Ma il feedback non è l'unica componente di un oggetto "aumentato": nell'interazione con un artefatto entrano in gioco altri elementi come, ad esempio, il feedforward (Wensveen et

al., 2004). Il feedforward inerente (ci riferiamo all'ambito del design dell'interazione) è la capacità che ha un oggetto di informare lo user su quali azioni dovrà compiere per utilizzarlo e in che modo esse dovranno essere eseguite.

Il particolare design della cover, ispirato alle ossa degli arti inferiori, ci ha permesso di realizzare una TUI che riesce a "suggerire" il modo in cui il dato può essere controllato e a farsi apprezzare per le sue qualità edoniche (Marti et al., 2015) rispetto ad altre modalità d'interazione (*touch gestures*). Siamo quindi riusciti, attraverso gli elementi di base del design, come forme e materiali, a concretizzare un'interazione in cui la modifica del "bit" è strettamente correlata a quella dell'"atomo". Tutto questo non ha richiesto l'utilizzo di sistemi complessi, ingombranti o particolari (Ishii et al., 2012).

Cosa è dunque una TUI?

Dal nostro punto di vista una TUI è un oggetto aumentato che permette allo user, nello stesso tempo e spazio, di "commisurare" le sue azioni coerentemente con le risposte fisiche e digitali di un sistema.

In questa definizione si riassume l'approccio con cui abbiamo affrontato la progettazione delle interfacce tangibili. Come vedremo nel capitolo dedicato allo stato dell'arte, questo tipo di interfacce possiedono molteplici aspetti, sia dal punto di vista dell'interazione che delle tecnologie applicate, assai differenti tra loro.

In questa introduzione, abbiamo riassunto le caratteristiche che permettono a un'interfaccia tangibile di discostarsi completamente dal paradigma WIMP.

Come abbiamo visto, infatti, una TUI non è una semplice periferica di input, perché può permettere allo user di interagire con il "dato" in una maniera molto più significativa, coinvolgente e soprattutto controllata (*continuous interaction*). Al tempo stesso, i feedback possono essere espletati sul dispositivo stesso permettendo allo user di controllare l'azione coerentemente con le risposte del sistema. Infine, le TUI consentono di combinare, nello stesso spazio e nello stesso tempo, i "meccanismi" di input e output trasformando un "oggetto aumentato" in uno oggetto (di design) deputato al controllo del dato.

Sono questi tre aspetti che, a nostro avviso, rendono le interfacce tangibili uno strumento adeguato nel concretizzare una relazione significativa tra le due "entità" che contraddistinguono il nostro tempo: il corpo ed il digitale.

TUIs - Stato dell'arte

In questa sezione prenderemo in esame diversi esempi di Tangible User Interfaces (TUIs) che ci permetteranno di fornire una visione d'insieme sulle ricerche, sulle caratteristiche del design e sulle tecnologie applicate a questa tipologia di interfacce.

Abbiamo ritenuto infatti utile descrivere non solo le funzioni o l'aspetto formale degli esempi proposti ma di integrare tutto ciò, ove possibile, con una descrizione del funzionamento dei sistemi e delle tecnologie utilizzate.

Il campo delle interfacce tangibili è molto ampio e, al fine di identificare con chiarezza i vari tipi di TUIs, abbiamo deciso di distinguerli in base al loro campo applicativo. In particolare le categorie che, secondo le nostre ricerche e la letteratura sull'argomento risultano essere più significative riguardano cinque campi applicativi:

- TUIs per la visualizzazione 2D e 3D.
- TUIs per la pianificazione, il problem solving e la simulazione.
- TUIs per l'apprendimento.
- TUIs per la musica e la performance.
- TUIs per la comunicazione.

Fra gli esempi riportati per ogni campo applicativo abbiamo scelto di includere, oltre ai prototipi, anche esempi di TUIs divenute prodotti commerciali, perché riteniamo che il trasferimento tecnologico sia un fattore essenziale per la stessa ricerca scientifica.

Gli esempi relativi ai prodotti ci permettono, in qualche modo, di valutare anche la risposta del mercato alle soluzioni proposte dalla ricerca, sia in termini di *user experience* che della validità delle soluzioni di design proposte.

Precisiamo infine che la nostra attenzione si è focalizzata in misura maggiore su due campi applicativi come le interfacce *squeezable* applicate ai dispositivi *mobile* (descritti nel Design case 1, p. 42) e alle interfacce tangibili destinate alla performance musicale con scopi riabilitativo/educativi (descritti nel Design case 2, p. 78).

TUIs per la visualizzazione 2D e 3D

Molti sistemi, dedicati alla visualizzazione delle informazioni, utilizzano le interfacce tangibili in quanto permettono, a differenza del modello WIMP, una gestione dei dati multimodale. Esse consentono infatti di utilizzare liberamente entrambe le mani per gestire il dato digitale attraverso l'uso di elementi manipolabili.

Generalmente questi sistemi si basano su un *coupling* fra una serie di elementi fisici, con i quali si può interagire, e una visualizzazione bidimensionale o tridimensionale dei dati che essi rappresentano. Per semplificare, possiamo dire che, ad esempio, un elemento fisico può essere ruotato di 90 gradi per ottenere una rotazione di pari valore di un'icona che viene rappresentata su di uno schermo. A seconda dell'applicazione utilizzata, l'azione che si esercita può corrispondere ad una rotazione di un modello 3D, alla modifica di un valore

numerico, a un aumento del volume di un suono, etc.

In alcuni casi i feedback dell'azione esercitata vengono visualizzati in due dimensioni utilizzando uno schermo LCD posto di fronte al piano in cui si opera. In altri casi, invece, i feedback del sistema vengono proiettati su di una superficie attraverso l'utilizzo di un videoproiettore. È il caso del progetto Pico, acronimo di Physical Intervention in Computational Optimization (Patten and Ishii, 2007), una superficie interattiva che permette di utilizzare oggetti di uso comune (ad esempio quelli presenti su una scrivania), come vincoli fisico/meccanici per interagire con il sistema. In questo caso lo user può interagire con degli elementi fisici la cui posizione viene *mappata* dal sistema con una rappresentazione del dato che avviene mediante una videoproiezione di icone direttamente sulla superficie.

Questa modalità, a nostro avviso, risulta molto efficace, perché il dato "aumentato" viene rappresentato direttamente sullo spazio in cui si opera e l'attenzione dello user viene concentrata in una sola area. Qualora il piano di proiezione dei feedback e l'area in cui si opera siano posti su due differenti piani invece, il campo visivo dello user deve necessariamente spostarsi fra di essi: quello "orizzontale" in cui si manipola il dato e quello "verticale" in cui esso viene rappresentato. Questa modalità, presente in molte TUIs, sembra conformarsi al paradigma WIMP dove le azioni eseguite sul mouse e sulla tastiera vengono rappresentate su di uno schermo posto in uno spazio "altro" rispetto allo spazio in cui avviene l'input.

A differenza del modello WIMP, gli elementi fisici del sistema possono essere ruotati nello spazio sull'asse Z (e non solamente sugli assi X e Y) o possono essere messi in relazione in base alla posizione o alla distanza tra di essi. Questi fattori permettono di eseguire operazioni più complesse e "generano" nuove modalità di interazione.

Tuttavia questo tipo di TUIs rispecchiano, in parte, un paradigma già assodato (WIMP) e è per questo che le valutazioni da parte degli users confermano, in alcuni casi, uno scarso vantaggio in termini di performance rispetto alle tradizionali GUI.

È il caso, ad esempio, del prototipo Tangible Query Interfaces (Ullmer et al., 2005), un sistema composto da "tokens" che possono essere posizionati su appositi *slot* ed essere ruotati per modificare i parametri di un *database* (<https://vimeo.com/48836608>). Il relativo studio valutativo ha dimostrato l'assenza di un vantaggio prestazionale rispetto ad una GUI tradizionale.

In altre esplorazioni, a nostro avviso più interessanti, gli elementi fisici che vengono utilizzati per interagire con il sistema non sono "passivi", ma possono assumere diverse configurazioni, nella forma e struttura, in base al modo in cui vengono manipolati.

In queste circostanze il "dato manipolato" non viene solo proiettato (feedback visivo) in relazione alla posizione degli elementi fisici del sistema, ma si concretizza anche attraverso una modificazione della struttura e della forma degli elementi stessi (feedback visivo e tattile).

Uno dei casi più interessanti è il progetto inFORM (<http://tangible.media.mit.edu/project/inform/>) sviluppato dal Tangible Media Group del MIT (Follmer et al., 2013).

Questo sistema è composto da un proiettore, una *Kinect*, un PC deputato all'elaborazione dei dati e da una matrice composta da una serie di parallelepipedi comandati da attuatori, che possono cambiare la loro disposizione in senso verticale (asse Z). Controllando l'altezza di ogni "parallelepipedo" rispetto alla sua posizione sul piano (assi X e Y) è possibile ottenere diverse "forme" o, più precisamente, diverse conformazioni spaziali della matrice.

Il sistema consente di rappresentare in maniera "fisica" il dato permettendo allo user di interagire con contenuti tridimensionali come, ad esempio, la forma di un modello di automobile (Fig. 1) o una serie di grafici tridimensionali.

La *Kinect* posta sopra al piano può rilevare la posizione nello spazio del corpo dello user o di un qualsiasi altro oggetto. Il sistema sfrutta la *tracking* tridimensionale di questa periferica per permettere allo user di interagire, in maniera indiretta, con la matrice di parallelepipedi. I movimenti delle mani e degli oggetti, in questo caso, non avvengono direttamente sulla matrice ma "esternamente" perché devono essere esercitati nell'area di rilevazione della

periferica che non coincide con lo spazio dell'output.

Le mani dello user vengono infatti riprodotte tridimensionalmente dai parallelepipedi (realizzati in polistirolo bianco) che generano un feedback visivo attraverso il quale lo user può percepire i movimenti del proprio corpo in relazione alla matrice.

A nostro avviso il progetto inFORM, con questa modalità di interazione, non mostra le qualità che possiede come interfaccia tangibile perché non sfrutta appieno i feedback tattili delle forme generate dalla matrice. In questo senso la manipolazione del dato non avviene in maniera "diretta" perché lo spazio dell'input non corrisponde a quello dell'output.

Comunque questa modalità permette di interagire con il sistema anche in telepresenza (Leithinger et al., 2014) e più users possono connettersi in modalità remota, attraverso un PC collegato ad una *Kinect*, e modificare "a distanza" la struttura della matrice e gli oggetti che possono essere posti su di essa.

In altri casi, a nostro avviso più interessanti, l'interazione con il sistema può avvenire in maniera "diretta" muovendo fisicamente gli oggetti sopra la matrice oppure regolando l'altezza dei singoli parallelepipedi direttamente con le mani. Attraverso queste modalità di interazione lo user può quindi manipolare, nel vero senso della parola, il dato: da un lato, utilizzando oggetti (nell'esempio proposto una sfera colorata) che possono essere spostati su percorsi generati dal sistema (sistemi di tipo *Token+Constraint*, p. 32) per ottenere una variazione delle forme e, dall'altro, modificando con le proprie mani la struttura delle forme. In entrambe le circostanze l'area della matrice assume, al contempo, la funzione di spazio di input e di output e permette allo user di sfruttare sia i feedback tattili che quelli visivi del sistema.

Le forme manipolate possono poi essere "esaltate", enfatizzando le parti concave e convexe o delineando specifiche aree, attraverso la proiezione di gradienti di colori sulle forme. Un proiettore posto sopra la matrice permette infatti di assegnare, alla parte superiore di ogni parallelepipedo, uno specifico colore.

In tal modo i feedback del sistema non si esplicitano solo attraverso una rappresentazione bidimensionale del "dato" (proiezione - feedback visivo) ma anche attraverso una "deformazione" fisica del dato stesso (feedback visivo e tattile). L'elemento fisico del sistema diventa quindi "attivo" assumendo al contempo sia il ruolo di oggetto deputato alla manipolazione del dato che alla sua rappresentazione.

Un altro progetto del gruppo di ricerca Tangible Media Group del MIT è il jamSheets (<http://tangible.media.mit.edu/project/jamsheets/>). In questa interessante esplorazione viene di-

Figura 1

La matrice di parallelepipedi del sistema inForm. Si può notare (al centro) la forma di un'automobile e (ai lati) la rappresentazione tridimensionale delle mani dello user collegato in telepresenza.

foto: Tangible Media Group
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0



mostrato (Ou et al., 2014) come l'utilizzo di "jamming layer" (dei "fogli" che possono essere deformati e deformarsi autonomamente attraverso un sistema di insufflazione e aspirazione dell'aria) possa essere applicato in diversi campi: dall'ambito delle TUI a quello del design di prodotto.

L'"jamming-layer" sono dei fogli di vario spessore e materiale, inseriti all'interno di un involucro ermetico in materiale plastico. Questi layer riescono a rilevare l'intensità e la posizione di una piegatura, l'intensità e l'area in cui la pressione viene esercitata e, di conseguenza, permettono al sistema di riconoscere il modo in cui vengono piegati.

Questi layer possono inoltre assumere diverse configurazioni strutturali perché riescono a passare dal loro stato iniziale (deformabile) ad uno stato rigido (Fig. 2). Attraverso l'uso di un microcontrollore il layer può memorizzare una deformazione esercitata dallo user e mantenerla: questo tipo di proprietà può rivelarsi molto efficace nelle applicazioni rivolte alle TUI. La deformazione che si esercita sul foglio infatti può sia essere mappata con un dato rappresentato visivamente (su uno schermo o una proiezione) sia mantenuta dal foglio stesso che assume così il duplice ruolo di interfaccia e di superficie "dinamica" che permette di concretizzare un feedback tattile.

Quest'ultima caratteristica appartiene sicuramente ai normali fogli di carta che utilizziamo tutti i giorni: possiamo infatti piegarli come vogliamo e, attraverso i nostri sensi, percepire al contempo le deformazioni che stiamo determinando su di essi.

Tali deformazioni però possono essere memorizzate ed interpretate dal sistema in forma di dati e, verosimilmente, si potrebbe ottenere un modello 3D (di un semplice *origami* ad esempio) che ricalca perfettamente la forma che abbiamo creato manipolando il foglio.

Sempre trattando delle recenti ricerche nel campo delle TUI ci sembra utile segnalare un altro progetto dove gli elementi utilizzati per interagire cambiano la loro configurazione spaziale coerentemente alle azioni esercitate.

Il sistema Thumblets (http://www.ted.com/talks/james_patten_the_best_computer_interface_maybe_your_hands/transcript?language=en) consiste in una serie di piccoli "robot" dalla forma cilindrica, provvisti di ruote, che possono essere spostati e ruotati dallo user per gestire diverse applicazioni. I "robot" contengono dei piccoli motori che permettono loro di muoversi autonomamente sopra la superficie su cui viene proiettato il dato (<https://vimeo.com/120203759>). Il progetto è una evoluzione del progetto Sensetable (Patten et al., 2001) un sistema che consente di tracciare in modalità *wireless* la posizione di oggetti disposti su di una superficie piana.

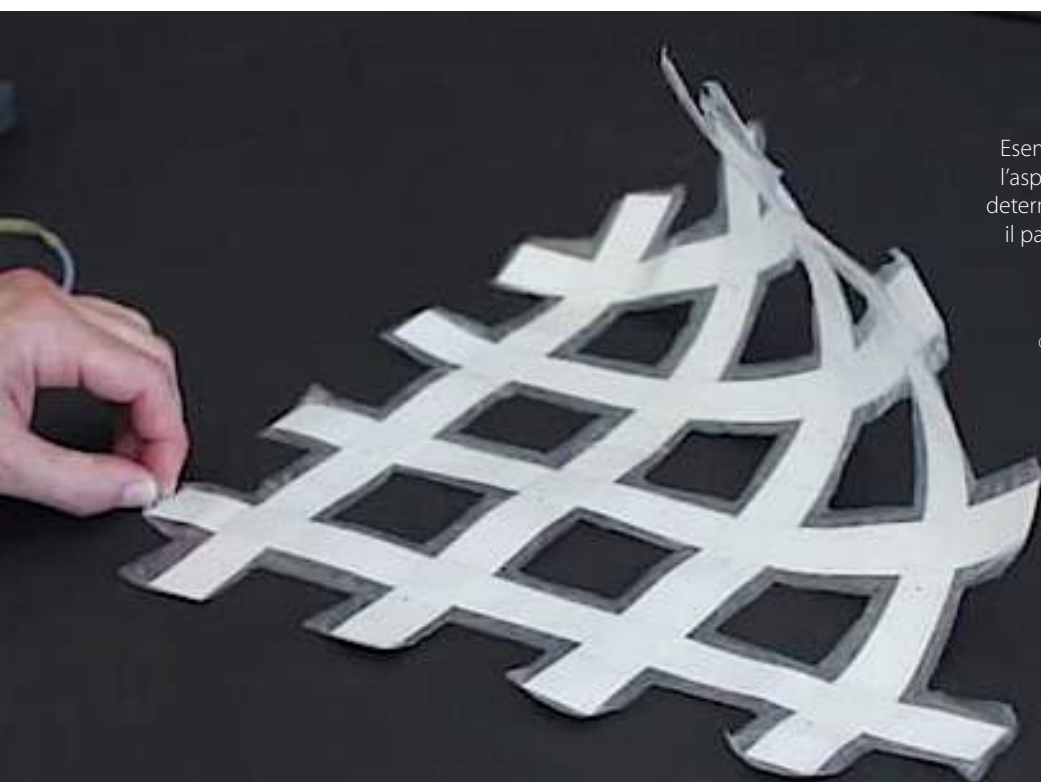


Figura 2

Esempio di un *jamming layer* : l'insufflazione o l'aspirazione controllata dell'aria nell'involucro determina un cambiamento della sua forma ed il passaggio da uno stato deformabile ad uno stato "rigido".

foto: Tangible Media Group
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0

Anche in questa circostanza abbiamo degli elementi che possono essere afferrati, spostati e ruotati e che vengono identificati dal sistema. Il loro spostamento, o la loro rotazione, permette allo user di controllare differenti variabili che vengono proiettate su di una superficie. Tuttavia, a differenza di progetti come il Pico (Patten and Ishii, 2007) e il Tangible Query Interfaces (Ullmer et al., 2005), gli elementi fisici che consentono di interagire con il sistema non sono "passivi" e possono disporsi autonomamente in precisi punti del piano.

In alcune applicazioni sviluppate per il sistema questa loro caratteristica permette di modificare, in maniera dinamica, diverse rappresentazioni bidimensionali o tridimensionali (come ad esempio la struttura di una molecola). I robot vengono infatti "ancorati" dal sistema a determinati punti della rappresentazione per permettere allo user di visualizzare, attraverso il loro spostamento, dei punti di interesse dell'immagine: nel momento in cui vengono rilasciati i robot tornano ad assumere la loro configurazione iniziale. In altre applicazioni la loro disposizione sul piano cambia, in maniera autonoma, a seconda delle operazioni che devono essere compiute dallo user.

In un certo senso quindi sono anch'essi degli elementi fisici "attivi" ma, a differenza dei due esempi sopracitati (inForm e jamSheets), questo sistema non permette allo user di modificare la loro struttura per ottenere una modifica del dato. Il feedback ricevuto dall'utente consiste in larga parte in una rappresentazione visuale che, anche qui, viene proiettata dall'alto mediante l'uso di un videoproiettore.

Tuttavia, la resistenza che offrono i piccoli robot durante il loro spostamento (essi in alcune applicazioni tendono a muoversi verso i punti di ancoraggio iniziali) forniscono, in un certo modo, un feedback tattile percepibile dall'utente.

TUIs per la pianificazione, il problem solving e la simulazione

Esistono vari esempi in letteratura riguardanti l'utilizzo di interfacce tangibili progettate per la pianificazione, come strumenti per il problem solving e la simulazione. Le TUIs consentono di concretizzare una visualizzazione "spaziale" del problema, e dei vincoli ad esso correlati, fornendo un quadro chiaro, perché semplificato e concentrato in uno spazio ben definito.

Gli elementi che compongono queste interfacce tangibili possono essere "aumentati" attraverso processi di elaborazione digitale, per simulare sul piano fisico delle proiezioni di possibili scenari come avviene, ad esempio, nelle TUIs destinate alla simulazione di condizioni atmosferiche nella progettazione architettonica e urbanistica.

La rappresentazione di vincoli fisici, manipolabili dallo user su di un piano ben definito, rappresentano un importante elemento in questo settore. E' per questo che vari progetti di TUIs hanno esplorato soluzioni al fine di superare le usuali modalità di visualizzazione 3D dei progetti offerta dai software di modellazione e rappresentazione 3D.

In particolare alcuni ricercatori (Fritz et al., 2009) hanno evidenziato le carenze dei sistemi basati sul paradigma WIMP nelle fasi di esplorazione dei modelli 3D durante i processi di valutazione condivisa dei progetti architettonici e urbanistici (in telepresenza e non). Quasi sempre, in questi casi, si rende necessario visualizzare le varie parti di un progetto utilizzando un'animazione video preimpostata. In questo senso sono state proposte soluzioni alternative di interazione per la navigazione dei modelli 3D attraverso l'utilizzo di *device*, come il *Nintendo Wii Remote Controller* o *device* dotati di accelerometro (robotics inertial

measurement unit - IMU).

Le modalità di interazione esplorate da questi ricercatori fanno leva sull'utilizzo di modalità di interazione di tipo gestuale, che non fanno ricorso all'utilizzo del mouse e delle icone, presenti nelle GUI dei software 3D (zoom, rotazione e trascinamento delle "viste").

Nel campo dell'urbanistica, il Tangible Media Group del MIT ha proposto un interessante progetto (<http://tangible.media.mit.edu/project/73/>) basato sul sistema I/O Bulb (Underkoffler, 1999).

Allo stesso sistema si richiama il progetto Luminous Room Urp (Underkoffler e Ishii, 1999) che impiega dei modelli in scala di costruzioni architettoniche, che possono essere posizionati su di un piano per simulare la proiezione delle ombre derivanti dall'illuminazione solare degli edifici (<https://vimeo.com/48600713>). Il diverso posizionamento degli edifici su di un piano permette di valutare, in tempo reale, gli effetti di proiezione della luce solare: un elemento fisico simile ad una lancetta di un orologio può essere infatti ruotato in senso orario e antiorario per simulare l'effetto della luce solare nelle varie ore del giorno.

La simulazione non riguarda solo lo studio delle ombre ma anche il grado di riflessività, rispetto alla luce solare, dei materiali utilizzati per il rivestimento degli edifici. Un apposito *tool* (simile ad una "bacchetta") permette infatti di "modificare" il materiale di rivestimento esterno di una struttura architettonica, semplicemente toccando il modello in scala di un edificio. Altri strumenti progettati per il sistema consentono di visualizzare l'andamento dei flussi d'aria dei venti sugli edifici (che vengono proiettati sulla superficie) o di misurare le distanze fra gli edifici stessi o altri elementi che compongono un determinato paesaggio urbano come, ad esempio, marciapiedi o strade.

Gli elementi fisici possono quindi essere manipolati dai progettisti per valutare, attraverso le informazioni proiettate sul piano con un videoproiettore, eventuali vantaggi e svantaggi delle soluzioni progettuali adottate.

Un altro progetto ha esplorato le possibilità applicative di una TUI nell'ambito della geovisualizzazione degli edifici architettonici della città di Venezia (Nagel et al., 2010).

Nel progetto Venice Unfolging, un elemento poliedrico irregolare può essere ruotato, rispetto a tutti e tre gli assi di rotazione, sopra uno schermo *touchscreen* (<https://vimeo.com/11526474>) per navigare la mappa della città e visualizzare diverse informazioni relative a edifici di interesse storico/artistico.

L'elemento poliedrico possiede, sulle sue facce, dei *fiducial marker* (marcatori) basati sul *framework* reacTIVision (Kaltenbrunner et al., 2007) che consentono al sistema di identificare il lato su cui l'elemento viene ribaltato. Ad ogni ribaltamento sono associati dei *menu*, con diversi contenuti, che lo user può visualizzare sullo schermo *tabletop* del sistema e con i quali può interagire ruotando o spostando l'elemento poliedrico. Ad esempio, è possibile navigare nei *menu* che consentono di visualizzare immagini o informazioni relative ad un edificio presente all'interno della mappa della città.

L'interazione con il poliedro risulta, dallo studio valutativo condotto dagli autori (Nagel et al., 2010), di non immediata comprensione per quegli users che utilizzavano per la prima volta il *tool*. In effetti il *mapping* fra la forma del poliedro (componente fisica) e la rappresentazione virtuale (componente digitale) non sempre corrispondono: i *menu* di *browsing* sono cilindrici e non vi è, quindi, una corrispondenza "formale" fra l'oggetto fisico e l'oggetto virtuale. Le azioni che possono essere esercitate sul poliedro come il ribaltamento, la rotazione e lo spostamento non sono, a nostro avviso, propriamente correlate all'output che ne deriva e l'interazione risulta quindi di non immediata comprensione.

Come si evince dallo studio valutativo riportato nel paper (Nagel et al., 2010), alcuni utenti cercavano, ad esempio, di selezionare i contenuti del *menu* toccandoli con il dito (*tap gesture*), non comprendendo quindi la relazione fra l'elemento fisico e le icone presentate nel *display* del sistema. In questo senso, sarebbe interessante a nostro avviso, condurre una valutazione più approfondita sull'effettiva efficacia dell'utilizzo di una TUI in questa particolare

applicazione, comparando la sua validità rispetto a quella di un "comune" *display tabletop touchscreen*.

Un esempio che ci piace citare, fra le TUIs destinate al problem solving, riguarda un concept sviluppato durante la quarta edizione della scuola di design internazionale Light Through Culture (<https://vimeo.com/98062969>). Questa scuola coinvolge studenti provenienti da diverse università europee (nella passata edizione l'Università di Siena, la Eindhoven Technical University e l'Interactive Institute di Umeå) per un periodo di due settimane ed ha lo scopo di esplorare temi di rilevanza culturale e sociale coniugandoli con l'uso di tecnologie interattive. Fra i tre progetti realizzati dagli studenti, chiamati a realizzare proposte sul tema della discussione fra cittadini e istituzioni nel campo della politica, è nato un concept, *Aesthetics of Politics*, per una TUI destinata a delineare il percorso di un processo democratico-deliberativo.

Il concept consiste in una serie di cilindri luminosi (Fig. 3), che possono registrare parti audio del dibattito e che possono essere avvicinati o messi in relazione tra loro dagli user che partecipano alla discussione. La distanza dei cilindri, o dei gruppi di cilindri, rispetto ad un elemento centrale che rappresenta il tema focale della discussione, permette una rapida visualizzazione della rilevanza delle problematiche e delle possibili soluzioni che vengono discusse.

I cilindri, ognuno dei quali rappresenta un determinato aspetto legato al tema, si illuminano in misura maggiore nel momento in cui sono più vicini al "topic centrale" e gli user possono riprodurre la conversazione registrata dal cilindro interagendo con dei *token* magnetici applicabili ai cilindri.

Nel concept proposto gli spostamenti dei cilindri possono essere monitorati e registrati in un *server* per cui permettono, attraverso una visualizzazione su schermo, di condividere i risultati del dibattito.

In conclusione, possiamo osservare che le interfacce tangibili rappresentano una modalità di interazione molto funzionale in questi campi applicativi perché gli elementi fisici che compongono il sistema non fungono solo da strumenti atti alla modificazione del dato; essi permettono, al contempo, di visualizzare sul piano di lavoro dei vincoli fisici che supportano, in maniera molto concreta, la percezione degli users sulle problematiche decisionali e progettuali rispetto ad un determinato argomento o progetto.

Figura 3

Dettaglio degli elementi fisici sviluppati per il concept *Aesthetics of Politics*.

screenshot: <https://vimeo.com/98062969>
Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0



TUIs per l'apprendimento

Questo campo applicativo presenta molti esempi, sia in forma di prototipi che di prodotti. In effetti, le TUIs sono molto utilizzate come strumenti educativi perché, a differenza di tecnologie basate sul paradigma WIMP, permettono di creare strumenti educativi più attrattivi essendo basati sulla gestualità e sulla manipolazione diretta dell'informazione.

Molti studi hanno dimostrato l'importanza della gestualità come strumento di supporto nella fase di apprendimento (Goldin-Meadow, 2003) e nell'alleggerimento del carico cognitivo (Alibali et al., 2000). I ricercatori hanno proposto un largo numero di giochi educativi sia per bambini con problemi cognitivi e/o fisici che non.

Oltre a questo, anche le case produttrici di giocattoli hanno sperimentato e realizzato "giochi aumentati" (come i Lego Mindstorms ad esempio) col fine di proporre un prodotto dalle caratteristiche più innovative e attrattive rispetto ai giochi "tradizionali". Questi "*physical learning environments*" (Shaer e Hornecker, 2010, p. 23) concretizzano un coinvolgimento attivo di tutti i sensi del corpo nel gioco e supportano quindi in maniera efficace lo sviluppo del bambino.

Fra di essi riportiamo a seguire quelle TUIs, destinate all'apprendimento, che sono maggiormente citati in letteratura e che, a nostro avviso, risultano più significativi dal punto di vista della nostra ricerca.

I Lego Mindstorms sono un kit di costruzioni, prodotti dalla ditta danese Lego, che integrano diversi sensori e attuatori. Il prodotto è stato sviluppato sulla base del sistema Lego/Logo nato dalla collaborazione fra la ditta danese e il Lifelong Kindergarten group al MIT Media Lab (Resnik, 1993). Nella loro ultima versione (<http://www.lego.com/it-it/mindstorms>) gli oggetti realizzati con i kit di montaggio possono essere comandati tramite software, attraverso un comando remoto, via *app*, oppure possono essere pilotati attraverso un sistema a infrarossi.

Questo prodotto stimola la creatività dei bambini che possono così apprendere le basi della programmazione (utilizzando un semplice e intuitivo software di programmazione visuale) e interagire, attraverso i modelli realizzati, con l'ambiente fisico che li circonda.

Il sistema, composto da blocchi assemblabili, è un paradigma di design molto utilizzato nella realizzazione di interfacce tangibili a scopo educativo.

Ne sono un esempio i Pico Crickets (<http://www.picocricket.com>), un kit sviluppato per la realizzazione di oggetti interattivi. Con questo sistema possono essere realizzate, per esempio, lampade che cambiano colore, semplici strumenti musicali, sculture cinetiche, e altro. Anche in questo caso i moduli integrano sensori e attuatori che possono essere programmati, in maniera molto semplice, attraverso un software di programmazione visuale dedicato.

Il Cubelets (<http://www.modrobotics.com/cubelets/>), nato con il nome di roBlocks al Computational Design Lab della Carnegie Mellon University (Schweikardt et al., 2008), è un sistema modulare progettato come strumento di supporto per l'insegnamento della matematica e della scienza.

È composto da diversi cubi, componibili in diverse configurazioni (Fig. 4) che funzionano in modalità *stand-alone*. Differentemente dagli esempi sopracitati, nei quali fra input e feedback è necessario interporre il caricamento di un codice per "istruire il sistema", quest'ultimo non necessita di programmazione. A seconda del modo in cui i blocchi vengono collegati fra loro dal sistema si ottengono varie tipologie di interazione e diversi feedback.

Un altro esempio di TUI, in forma di prodotto dedicato all'ambito learning, è il Topobo (<http://www.topobo.com/>). È un sistema che permette di realizzare forme zoomorfe at-

traverso l'utilizzo di diverse parti assemblabili tramite giunti. Le creazioni possono essere animate tramite un corpo centrale che comprende dei piccoli motori e che può essere programmato via software: a seconda delle parti che sono state utilizzate e del modo in cui sono interconnesse tra loro, le creazioni si muovono in maniera diversa.

Come strumento educativo, il prodotto permette di insegnare concetti come la dinamica dei movimenti e l'equilibrio. Ha avuto riscontri positivi come tramite di interazione sociale nei bambini autistici (Williams et al., 2009).

In questo caso, a differenza degli esempi sopracitati, non vi sono moduli che integrano sensori e il feedback del sistema consiste in una semplice ripetizione dei movimenti determinati dalla conformazione strutturale realizzata. Questo prodotto, anche se con finalità diverse dal progetto di cui sopra, utilizza la nozione di parti modulari componibili.

Un sistema "a moduli" permette ai bambini di generare processi di rielaborazione dei concetti appresi e offre agli educatori la possibilità di generare *storytelling* sempre nuovi.

La qualità di un sistema modulare "aumentato", a nostro avviso, risiede nel fatto che ogni singolo elemento, e il suo funzionamento, può essere maggiormente compreso se contestualizzato e messo in relazione con gli altri elementi del sistema. Si possono così esplorare nuove configurazioni (parte creativa), sequenzializzando le componenti in un ordine (parte teorico-organizzativa) che risultino idonee per il corretto funzionamento del sistema (parte logico-fisica).

Queste tipologie di TUIs, recentemente, sono state utilizzate con bambini che presentano disabilità fisiche e cognitive.

E' il caso del progetto Linguabytes (Hengeveld, 2011), sviluppato per bambini con gravi difficoltà di produzione orale. Il sistema permette di concretizzare, con l'uso di oggetti manipolabili e intercambiabili, una narrazione interattiva fra user e sistema. In questo caso, rispetto ad altri progetti basati su una GUI (Graphical User Interface) basata sul paradigma WIMP, i bambini vengono stimolati in misura maggiore: un'interazione basata sull'utilizzo di un'interfaccia tangibile riesce a concretizzare quegli aspetti collaborativi che risultano essenziali nel rapporto tra il terapeuta e il bambino e introduce una modalità di interazione che enfatizza l'esperienza sensoriale. Secondo Shaer e Hornecker (2010, p. 26) un'interfaccia tangibile di questo tipo permette di generare un ambiente educativo molto più ricco dal punto di vista sociale, cognitivo e linguistico rispetto ad un sistema basato sull'utilizzo di interfacce grafiche.

Figura 4

Dettaglio dei cubi modulari del sistema Cubelets.
Dall'alto a destra il sensore di luce (nero), il modulo di alimentazione (grigio) e l'attuatore di movimento (trasparente).

foto: www.brandfolder.com/modrobotics



Questo però non sta a significare, dal nostro punto di vista, che l'utilizzo di un'interfaccia grafica non sia efficace nei processi di apprendimento, ma che, anche in presenza di una GUI, le qualità dell'interazione con un oggetto tangibile attivano processi motori e percettivi che stimolano l'interesse del bambino ed enfatizzano le sue altre abilità.

Anche il sistema Linguabytes è un sistema modulare (Hengeveld et al., 2013) che utilizza tuttavia un *display* su cui possono essere selezionate 8 diverse schermate tematiche. Muovendo sulla base in legno posta davanti allo schermo una varietà di oggetti che fungono da "input tangibili", come ad esempio figurine colorate e forme dotate di tag RFID (Radio-Frequency Identification), il sistema è in grado di riconoscere i contenuti che vengono disposti sopra di essa.

In questo modo il terapeuta può creare esercizi per il linguaggio basati su *storytelling* sempre nuovi sfruttando sia gli elementi tangibili che l'interfaccia grafica del sistema.

TUIs per la musica e la performance

Le applicazioni di TUIs nel campo della musica e delle performance musicali sono molto diffuse perché solitamente richiedono un coinvolgimento molto diretto del corpo nell'interazione con lo strumento. Jordà (2008) ha descritto alcune importanti caratteristiche riguardanti le qualità delle interfacce tangibili in questo campo applicativo. A tale riguardo le TUIs infatti sono un valido strumento di supporto perché permettono di concretizzare un'interazione in tempo reale con informazioni dal carattere pluridimensionale, e attivano interazioni esplorative che possono essere di tipo complesso o che richiedono un buon livello di abilità. Va inoltre notato che tali tipologie possono essere svariate e che quindi questi tipi di TUIs possono essere destinate sia ad utenti esperti che non.

Secondo Shaer e Hornecker (2010, p. 40) le interfacce tangibili destinate alla musica ed alla performance sono divise in quattro "livelli di approccio":

- Strumenti musicali come sintetizzatori (strumenti musicali che appartengono alla famiglia degli elettrofoni) e generatori di suono totalmente controllabili dallo user.
- *Sequencer* (in italiano sequenziatore): dei dispositivi che permettono di creare e riprodurre sequenze di segnali di controllo.
- Giochi sonori, destinati ad utenti non esperti con controlli limitati
- *Controller* che permettono di controllare a distanza dei *sample* audio.

Uno degli esempi più importanti, e più citati in letteratura, è il *reactTable* (Jordà et Al., 2007), uno strumento utilizzato anche da artisti di livello internazionale, come ad esempio Björk, per le loro performance live.

Il *reactTable* (<https://vimeo.com/4748386>) è un sistema *tabletop* che permette allo user di generare e controllare il suono prodotto su di un piano "aumentato" manipolando elementi fisici di diverse forme e/o interagendo con le dita sulla sua superficie.

Il supporto cilindrico del sistema contiene un proiettore, deputato alla retro-proiezione degli elementi grafici sul piano, una telecamera che consente di riconoscere i *tags* applicati sugli elementi fisici (o le dita dello user) e la loro disposizione sul piano, una lampada a infrarossi e un sistema software per la gestione e la riproduzione dei suoni.

Il sistema di *patching* dinamico degli elementi fisici permette di realizzare una facile e intuitiva programmazione visuale del suono. Questo modello ricorda molto i software di

programmazione visuale per la sintesi additiva, sottrattiva e granulare del suono (delle tecniche di sintesi sonora ottenute mediante la gestione di singole onde sonore) come, ad esempio, il software MaxMSP (<https://cycling74.com/products/max/>). Tali tipi di software consentono di realizzare suoni e composizioni di suoni attraverso il collegamento di diversi elementi (denominati *objects*) ognuno dei quali può generare o modulare il suono in ingresso, in maniera diversa.

Il *reactTable* sfrutta questo paradigma, derivante a sua volta dai primi sintetizzatori, proponendo un *patching* dinamico che può essere posto in essere in maniera fisica dallo user: gli elementi fisici possono essere "aggiunti" alla composizione e collegati in base alla loro distanza. La loro manipolazione e le configurazioni che possono assumere quando sono collegati tra loro permettono di generare, modulare o filtrare il suono realizzando una larga varietà di suoni e composizioni sonore.

Come già accennato, oltre a queste modalità di interazione, lo user può al contempo interagire con le proprie dita attraverso l'interfaccia retro-proiettata sul piano: ogni elemento fisico infatti, quando viene posto sul piano, viene inscritto in un cerchio proiettato che assume differenti forme in base al tipo di funzione propria di ogni elemento (Fig. 5).

Agendo attraverso questa interfaccia i suoni possono essere modulati in altrettante maniere.

Il feedback visivo che si genera nelle composizioni è molto complesso e per il quale occorre una buona dose di pratica. Tuttavia il *reactTable* propone un *mapping* molto interessante fra il suono e la sua rappresentazione grafica, ad esempio, se si genera un'onda sinusoidale il collegamento fra un cubo e l'altro corrisponde ad una linea ondulata, se si genera un'onda triangolare il collegamento assume una forma a "zig-zag" e così via. In questo caso, a differenza del progetto Venice Unfolding (Nagel et al., 2010) la grafica delle onde corrisponde ai periodi e alla frequenza delle onde generate.

Oltre a questo, sul piano vengono visualizzate altre informazioni come il tempo, le battute, la durata di un *sample*, etc. Recentemente questo prodotto è stato sviluppato anche in forma di *app* per dispositivi *mobile* (<http://reactable.com/mobile/>).

Un progetto molto simile a quello appena descritto è l' *Audiopad* (<https://vimeo.com/44533970>), sviluppato dal Tangible Media Group del MIT. Il sistema è antecedente al progetto sopra descritto (Patten et al., 2002) e le modalità di interazione con questo strumento sono pressoché identiche: tuttavia, a differenza del primo, questo sistema utilizza

Figura 5

Dettaglio della superficie retroproiettata del *reactTable*. Si possono notare gli elementi fisici del sistema, i feedback visivi e la modalità di interazione *finger-based*.

foto: <http://file.org.br/>



una proiezione dall'alto e non è stato sviluppato in forma di prodotto ma come mera ricerca esplorativa sulle interfacce tangibili.

Va notato quindi che, concettualmente, il *reactTable* riprende un concetto già esplorato anche se quest'ultimo, in termini di usabilità e di estetica, possiede caratteristiche migliori, come ad esempio la retro-proiezione dei feedback visivi che permette una visualizzazione più agevole per lo user. In molti progetti di interfacce tangibili, alcuni dei quali già citati (*Pico*, *Luminous Room Urp* e *Thumblets*), la proiezione avviene infatti dall'alto generando ombre che compromettono la corretta visualizzazione del piano di proiezione e degli elementi con cui si interagisce.

Fra i "giochi sonori" apparsi di recente, possiamo citare due esempi di applicazioni molto differenti tra loro: il sistema *Guitar Hero* e le *MusicTiles*.

Il primo (<https://www.guitarhero.com/it/>) è un videogioco musicale sviluppato per *console*. Manipolando il *controller* del gioco i giocatori possono interagire con brani di famose rock band suonando sulla traccia in riproduzione le parti di chitarra elettrica o di basso elettrico. Il *controller* ricalca la forma di strumenti musicali realmente esistenti riprodotti in scala (come ad esempio la *Gibson SG* o la *Gibson LesPaul*) ed è composto da una serie di 5 tasti di diversi colori sulla tastiera e una barra posizionata sul corpo dello strumento che consente di simulare la "plettrata". Sempre sul corpo è posizionata una leva che simula l'effetto della leva del vibrato per controllare l'intonazione come nelle chitarre elettriche reali.

Il gioco consiste nel premere i tasti e interagire con gli altri elementi presenti sulla "chitarra", seguendo le informazioni che vengono rappresentate sullo schermo. Sul video viene visualizzata una tastiera di chitarra su cui scorrono delle icone di 5 diversi colori che rappresentano le sequenze di tasti da premere sulla tastiera, singolarmente o in contemporanea. I brani con cui si interagisce possono essere di diversi livelli di difficoltà e lo user può completare i livelli eseguendo in maniera corretta i brani scelti.

In questo caso è interessante notare l'esistenza nel gioco del fattore "errore" perché, premendo i tasti in maniera scorretta, si ottiene un minor punteggio, cosa che non avviene negli altri casi citati in questo paragrafo. L'interazione in questi ultimi permette di modulare i suoni senza rendersi conto di incorrere in sonorità antiestetiche.

Il fattore "errore" ci appare quindi come una qualità che dovrebbe essere implementata nelle interfacce tangibili destinate alla musica: senza di esso lo user può sicuramente divertirsi ma senza imparare elementi quali, il ritmo, il tempo, l'armonia, l'assonanza delle note che creano un accordo, etc.

Questi fattori sono essenziali quando si impara a suonare uno strumento "tradizionale" e crediamo che rappresenti un fattore essenziale nell'*engaging* dello user quando utilizza una TUI destinata alla musica o alla performance musicale. Riteniamo infatti che l'errore sia l'elemento che ci permette di comprendere meglio gli oggetti che ci circondano e l'uso che ne facciamo e che permette di far risaltare quelle abilità personali che ci contraddistinguono gli uni dagli altri.

Il progetto *MusicTiles* (<http://www.musictiles.com/>) parte invece da un concetto diverso, perché destinato al remixing di brani già esistenti. In questo senso il "gioco" non ha lo scopo di essere uno strumento "vero e proprio", ma rappresenta una innovativa modalità di interazione in cui lo user può modificare le singole tracce di una canzone che possono essere scaricate dalla piattaforma *iTunes*. La *app* *Music Tiles* (Lund et al., 2014) è un sistema basato su moduli (*tiles*) che rappresentano, attraverso diversi colori, le singole tracce che compongono un brano: ad esempio i moduli blu corrispondono alla parte vocale, quelli gialli alle linee di chitarra, etc. Posizionando in diverse maniere le *tiles* all'interno di una griglia predefinita lo user può creare nuovi remix di canzoni.

Il concetto di un sistema basato su moduli ha consentito ai suoi creatori di trasporre la *app* in forma di interfaccia tangibile riproponendo il concetto di remixing attraverso una rappresentazione fisica delle *tiles* (pp. 90-91).

I MagicCubes (<https://www.youtube.com/watch?v=F9KNJR9unzo>) sono un “fuori scala” degli elementi utilizzati nella *app* e consistono in una serie di cubi dalle grandi dimensioni che possono essere capovolti nelle loro sei facce per ottenere il remix, dal vivo, di un brano musicale. La grandezza degli elementi produce una interessante interazione di tipo cooperativo fra gli user dando luogo ad una “socialità creativa mediata dal gioco” (Lund et al., 2014, p. 55). I MagicCubes sono stati inoltre utilizzati come strumenti per la live performance nello European Back-to-Front Tour del 2013 di Peter Gabriel dove i musicisti hanno combinato l’uso di strumenti “tradizionali” con le tracce da essi generate.

Anche l’Audiocubes (Schiettecatte and Vanderdonckt, 2008) è un sistema modulare, in forma di piccoli cubi, che possono essere messi in relazione tra loro per generare composizioni sonore (<https://www.percussa.com/>). Ogni cubo comprende, su cinque delle sei facce, dei sensori ottici e degli emettitori (LEDs RGB e ad infrarossi) che consentono di rilevare la distanza o il posizionamento fra un cubo e l’altro. I sensori e gli emettitori di luce consentono di ricevere ed inviare segnali audio che vengono generati e processati dalla DSP (Digital Signal Processor, un tipo di processore ottimizzato per l’elaborazione di segnali digitali) posta all’interno dei cubi che sono alimentati con una batteria interna ricaricabile. Il sistema è quindi un dispositivo stand-alone: ogni cubo può essere programmato con un cavo USB e può essere utilizzato su qualsiasi superficie, luogo o condizione ambientale.

A differenza delle TUIs che utilizzano un sistema di proiezione (reacTable, Audiopad), questa metodologia realizzativa non richiede di una bassa illuminazione dell’ambiente in cui si opera o di particolari superfici per essere utilizzato. Il sistema può interfacciarsi con un’ampia gamma di software che vengono utilizzati come *sequencer* o *workstation* audio digitali come, ad esempio, il programma Ableton Live (<https://www.ableton.com/>).

Dal punto di vista della trasmissione dei dati il sistema originario, composto da elementi che comunicano in sequenza tra loro, è stato sostituito con un sistema più performante che consiste nell’utilizzo di una trasmissione *wireless* in cui i diversi cubi sono collegati ad un cubo “*master*” che raccoglie i loro dati e li invia al PC. L’implementazione di questa tecnologia consente una maggiore velocità di trasmissione, pur mantenendo inalterate le modalità di interazione con i cubi.

Il suono generato può essere “manipolato” ruotando o posizionando i cubi in diversa maniera tra loro, ma anche utilizzando le mani: possono essere “suonati” anche coprendo i sensori con le dita.

Una interessante esplorazione nel campo delle applicazioni di TUIs per la musica è quella fornita dall’installazione sonora Musical Box Garden (Ferris and Bannon, 2002). Quest’ultima propone una serie di scatole in cartone disposte in uno spazio molto ampio con cui gli users possono interagire per generare e modificare il suono generale. Ognuno dei quattro gruppi di scatole ha una specifica funzione. Il primo gruppo permette di registrare qualsiasi suono (ad esempio la voce o un battito di mani) e di convertirlo in segnale audio analizzando l’ampiezza e la frequenza del segnale tramite software. Il segnale audio registrato viene poi convertito, attraverso il software MAX, con il suono di uno dei tre strumenti del sistema: pianoforte, percussioni o xilofono.

Aperto le scatole del secondo gruppo il suono può essere riprodotto più volte; gli altri due gruppi di scatole permettono invece di modificare il volume e la velocità di riproduzione del *sample* impilando o spingendo specifiche scatole.

In questo caso l’interazione non avviene su una superficie dallo spazio limitato, ma su uno spazio ampio che prevede un coinvolgimento del corpo più esteso, in una *bodily interaction* fortemente “dichiarata”. Il sistema crea un *engagement* basato non solo sugli aspetti sonori, visivi e tattili ma anche sfruttando l’aspetto cinestetico, attraverso il movimento che si crea tra gli user tra i diversi gruppi di scatole.

La natura stessa di un’installazione possiede, o può possedere, tale caratteristica perché tende in genere a sfruttare uno spazio più ampio rispetto ad un’interfaccia tangibile di tipo

tabletop. Tuttavia, in molti degli esempi sopracitati, la gestualità del corpo e le possibilità che gli appartengono vengono “ridotte” al solo uso delle mani. Crediamo che nello sviluppo di nuove interfacce tangibili, il corpo possa e debba essere maggiormente coinvolto nell’interazione con *tool* di questo tipo. Dal nostro punto di vista le modalità di interazione con le TUIs dovrebbero “ampliarsi” prevedendo un *engagement* del corpo più marcato che faccia leva più sulle abilità percettivo-motorie del corpo che sulle abilità cognitive. Questo permetterebbe di generare nuova conoscenza nel campo della ricerca e permetterebbe di pervenire ad un distacco significativo dal paradigma WIMP.

Un esempio di strumento dedicato alla performance musicale basata su un coinvolgimento diretto del corpo è lo uPoi (Sheridan and Bryan-Kinns, 2008). Questo è una rivisitazione di un antico strumento Maori, il Poi, che consiste in una piccola sfera collegata ad una corda che veniva utilizzato come strumento per la danza e per esercitare la forza e la coordinazione. Tale “archetipo” è stato riproposto come strumento “aumentato”: lo uPoi infatti genera un output sonoro direttamente mappato con un accelerometro posto all’interno della sfera. Una trasmissione *wireless*, basata sulla piattaforma Tmote sky (<http://www.eecs.harvard.edu/~konrad/projects/shimmer/references/tmote-sky-datasheet.pdf>), consente ad un PC di ricevere i valori dell’accelerazione esercitata dallo user e di inviarla poi ad un altro PC, attraverso una trasmissione *wireless* di tipo *peer-to-peer*, che converte i valori in suono.

Il suono, in questo caso, viene prodotto facendo ruotare il dispositivo intorno al corpo con maggiore o minore intensità, realizzando così un’interazione di tipo “continuo” (*continuous interaction*) e non di tipo “discreto” (*discrete interaction*), come avviene in altri esempi già citati dove, per interagire con il sistema, si deve premere un pulsante o posizionare, in un dato spazio, un elemento.

L’interazione con lo strumento diviene così più espressiva perché il sistema, pur nella sua essenzialità, realizza un *mapping* diretto fra l’azione esercitata dal corpo e il feedback audio che ne deriva. Tale *mapping* consente di cogliere molte più sfumature nelle azioni esercitate dal corpo durante l’interazione e di provvedere ad una risposta del sistema, in termini di output, molto più ricca e dettagliata.

TUIs per la comunicazione

In questa sezione dello stato dell’arte dedicato alle TUIs focalizzeremo la nostra attenzione sui dispositivi destinati alla comunicazione. In particolare, nella nostra ricerca, abbiamo rivolto la nostra attenzione a quelle soluzioni, sia di design che tecnologiche, che permettono di concretizzare una interazione di tipo continuo con i *mobile devices* come smartphone e tablet. L’interazione che solitamente avviene con questo tipo di dispositivi è di tipo *finger-based* e può essere espressa sugli schermi *touchscreen* dei dispositivi attraverso *gestures* predefinite o, per funzioni più generali e meno complesse, tramite i tasti presenti sull’oggetto.

Le modalità di interazione con i dispositivi *mobile*, in quasi tutti i casi, non contemplano un’interazione di tipo continuo che può essere esercitata sull’oggetto per modificare, attraverso la manipolazione del *device* stesso, una determinata funzionalità.

Alcune funzionalità delle applicazioni possono essere controllate dall’utente mediante la rotazione su un determinato asse del *device* che, attraverso l’utilizzo di sensori come l’accelerometro e il giroscopio, permette di concretizzare un *coupling* fra la rotazione esercitata e la risposta dell’applicazione.

In questo caso, ad esempio, siamo di fronte a una interazione che possiamo definire di

tipo continuo, perché la rotazione viene mappata, per ogni grado, con lo spostamento di un elemento presente nella GUI dello schermo. Il dato "manipolato" quindi fornisce un feedback di tipo visivo ma non implica un feedback di tipo tattile o la modifica della struttura del *device* stesso.

Nella nostra ricerca invece abbiamo tentato di identificare alcune modalità di interazione, come ad esempio lo *squeeze* (che potremmo tradurre con la parola strizzare) o la deformazione del *device* che, oltre a fornire un feedback di tipo visivo sullo schermo, potessero offrire allo user anche un feedback tattile e visivo di tipo "fisico" determinato dalla deformazione della struttura dell'oggetto stesso.

Le attuali interfacce dei dispositivi *mobile*, infatti, permettono allo user di modificare il dato digitale su una superficie di tipo "rigido" attraverso l'utilizzo di *slider*, *buttons* e *knob* presenti nella GUI dei dispositivi. Tuttavia, questo tipo di interazione non coinvolge i nostri sensi in maniera "completa", perché non ci permette di percepire le proprietà intrinseche degli elementi con cui interagiamo limitando, di fatto, la nostra espressività (Martí, 2010).

La ricerca in questo campo applicativo ci ha permesso di evidenziare un aspetto molto importante delle TUIs che risiede, a nostro avviso, nel *coupling* tra la manipolazione dell'oggetto che genera un feedback tattile/visivo "fisico" (derivante dalla deformazione dello stesso) e la rappresentazione "digitale" del dato modificato.

Abbiamo quindi analizzato alcuni esempi in cui la manipolazione del *device* o la deformazione esercitata dallo user su di esso permettono di concretizzare, in tempo reale, un *coupling* tra il feedback "fisico" e quello "digitale".

Nello stadio iniziale dell'esplorazione di nuove modalità d'interazione con interfacce che possono essere modificate nella loro "struttura", Harrison et al. (1998) hanno proposto il primo esempio di interfaccia *squeezable* (che in italiano possiamo tradurre con strizzabile o comprimibile). Questi ricercatori hanno cercato di *mappare* le azioni esercitate su oggetti "reali" con una loro rappresentazione virtuale sfruttando i punti di forza di ognuna delle componenti utilizzate (caratteristiche dei materiali - qualità della rappresentazione virtuale). In un altro esempio essi hanno implementato una applicazione che consente di navigare dei *menu* in maniera sequenziale apponendo sui lati di un dispositivo Palm Pilot dei sensori di "pressione" (*force sensitive sensors*). La resistività elettrica di questo tipo di sensori varia a seconda della pressione che viene esercitata sulla loro area "sensibile": più alta è la pressione applicata minore è la resistività.

I sensori sono posizionati sul *device* in maniera tale da poter tracciare la pressione esercitata dai pollici e dalle dita dello user: strizzando leggermente il dispositivo, si può navigare l'elenco di una determinata lista. Questa modalità di interazione è stata valutata positivamente dagli user durante le sessioni di valutazione; lo "*squeezing*" infatti permette di manipolare il dato senza richiedere il ri-posizionamento delle mani e, al contempo, senza alterare la distanza di visione rispetto allo schermo.

Altri ricercatori (Clarkson et al., 2005) hanno esplorato le possibilità offerte dall'utilizzo di sensori di "pressione" (*force sensitive sensors*) integrati nella tastiera "fisica" dei telefoni cellulari. In questo caso, le diverse pressioni che vengono esercitate dallo user sui tasti consentono di modificare, con un input di tipo "continuo", lo stato di alcune funzionalità mediante una modalità di interazione più espressiva rispetto all'input che avviene attraverso l'utilizzo dei normali *pushbutton switch*. Premendo con maggiore o minore intensità i tasti, infatti, possono essere modificati l'orientamento di un oggetto tridimensionale, la quantità di zoom nella visualizzazione di una determinata immagine o lo scorrimento di messaggio di testo. Un'altra delle applicazioni evidenzia le qualità di questo sistema da un punto di vista "*affective computing*" (Picard, 1997) dove la possibilità di condividere lo stato emozionale dello user viene concretizzata mediante una funzione che consente di cambiare la grandezza del testo degli *SMS* in base alla forza esercitata nella pressione dei tasti.

In questo caso, all'azione esercitata dallo user sul *device*, corrisponde solo una leggera de-

formazione degli elementi che lo compongono. Tuttavia, come esplorazione, questo percorso ci appare molto interessante soprattutto per la semplicità funzionale delle soluzioni adottate e perché concretizza con efficacia il paradigma di interazione continua (Doherty and Massink, 1999).

Apple ha recentemente integrato una funzionalità all'interno del suo *smartwatch* chiamata ForceTouch che sarà estesa anche agli altri dispositivi *mobile* dell'azienda (<http://www.cnet.com/news/what-force-touch-could-do-for-the-next-iphones-and-ipads/>). Questa tecnologia permette allo user di accedere, in maniera veloce, a funzioni contenute nel dispositivo premendo con un diverso grado di forza un determinato punto del *display*. Allo stato attuale (ci riferiamo all'implementazione sul dispositivo IWatch) il *display* è sensibile alla forza che viene esercitata su di esso ma questa caratteristica non è utilizzata per determinare una regolazione "continua" del dato nelle funzioni principali del dispositivo.

Ad esempio, ad una maggiore pressione applicata corrisponde l'attivazione di una schermata aggiuntiva che consente di selezionare funzioni correlate all'applicazione in uso: premendo su un messaggio, ad esempio, si può accedere ad una schermata in cui appaiono le icone per la ricerca di un indirizzo o di un contatto.

In questo senso, a differenza delle esplorazioni proposte circa un decennio fa (Clarkson et al., 2005) a proposito di un'interazione continua basata sull'utilizzo di sensori di forza applicata, ci sembra che gli sviluppatori non abbiano voluto integrare il paradigma di input "non-binario" in senso pieno, preferendo implementare un tipo di controllo che appare molto più simile al *click* del tasto destro di un mouse che ad una regolazione continua del dato. Va considerato tuttavia che, a livello hardware, questa tecnologia e la sua implementazione nei dispositivi *mobile* potrebbero stimolare la creatività degli sviluppatori di *app* che potrebbero utilizzare questa funzione per aggiungere controlli più espressivi per diverse applicazioni.

Recentemente sono apparsi concept e brevetti di aziende, come Nokia ad esempio, che dimostrano l'interesse delle aziende per l'applicazione del concetto di manipolazione fisica dei *device* come "metodologia" costruttiva e di interazione utilizzata per arricchire l'esperienza d'uso con i dispositivi *mobile*.

In particolare, il Nokia HumanForm (<https://www.youtube.com/watch?v=tnHDWwoK5jA>), è un interessante concept per uno smartphone caratterizzato da una struttura flessibile (Fig. 6). Questa particolare struttura consente allo user di manipolare fisicamente l'ogget-

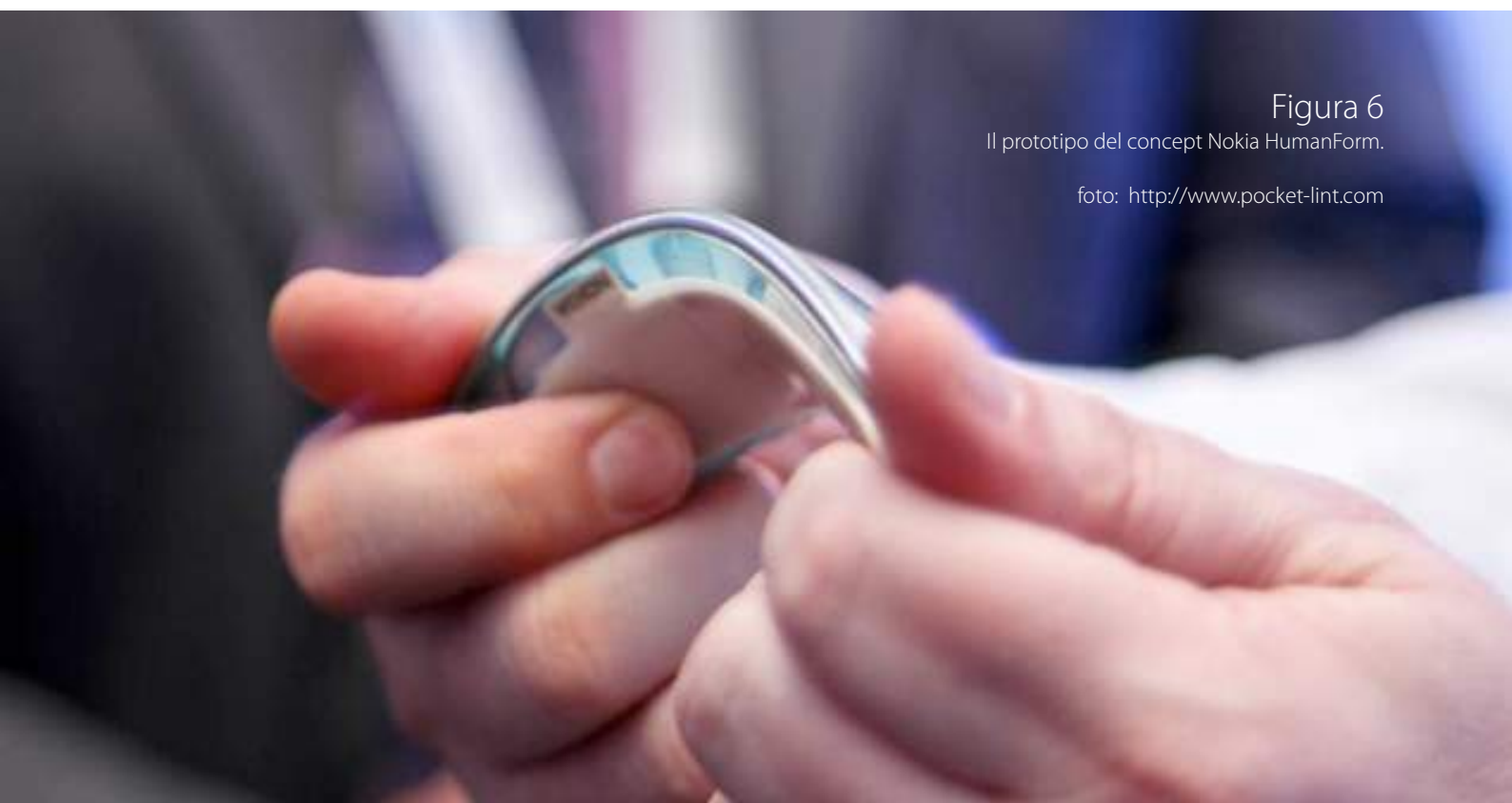


Figura 6

Il prototipo del concept Nokia HumanForm.

foto: <http://www.pocket-lint.com>

to per modificare alcune funzionalità del sistema. Ad esempio l'oggetto può essere flesso verso l'interno per aumentare il livello di zoom (zoom in) o verso l'esterno per diminuirlo (zoom out) oppure lo user può compiere una torsione di un lato verso l'alto o verso il basso per far scorrere le fotografie contenute nell'archivio.

La concretizzazione di questo concept è avvenuta con il prototipo Kinetic DUI-RP (Kildal et al., 2012). Tale prototipo è costituito da una parte centrale flessibile e deformabile meccanicamente, e due parti esterne realizzate in materiale rigido. Lo user può utilizzare le due parti esterne per deformare la struttura del prototipo che ricalca, sia nella forma che nelle dimensioni, l'aspetto di un comune smartphone. Nella parte centrale, realizzata con materiale morbido, sono contenuti degli estensimetri, sensori che permettono di identificare deformazioni termiche o, come in questo caso, meccaniche. Le deformazioni (rispetto all'asse Z e all'asse Y del prototipo) che possono essere misurate dal prototipo variano per un *range* che va da 0° a 45° e permettono di identificare la rotazione di una o entrambe le parti rigide o la deformazione della parte centrale. In questo caso, a differenza del concept di cui sopra, le azioni esercitate sul prototipo non vengono mostrate attraverso uno schermo flessibile posto sulla parte superiore del modello, ma vengono rappresentate sullo schermo di un PC (a cui il prototipo è collegato via cavo) in cui sono state "proposte" diverse applicazioni per valutare le diverse modalità di interazione. I ricercatori non sono ricorsi all'uso di schermi flessibili come, ad esempio, i *display* OLED (Organic Light Emitting Diode) ma hanno preferito utilizzare uno schermo posto esternamente al prototipo per ragioni di complessità produttive.

Dal nostro punto di vista, valutiamo in maniera positiva questa esplorazione, perché riteniamo che i fattori che impiega non sia di poco conto: crediamo infatti che una TUI o, più specificamente una DUI (Deformable User Interface), debba fornire allo user una rappresentazione dei feedback che avviene nello stesso spazio in cui l'azione viene esercitata.

Lo studio presentato da Kildal et al. (2012) non riporta dati relativi all'efficacia delle soluzioni di design e di interazione proposte con il prototipo in questione. Tuttavia essi forniscono una serie di interessanti osservazioni ottenute da user-test qualitativi effettuati su precedenti esplorazioni che hanno portato alla genesi del prototipo proposto.

In particolare hanno rilevato che:

- I gesti di flessione e torsione possono essere più facilmente eseguiti utilizzando entrambe le mani, anche per oggetti di dimensioni più grandi rispetto a quello proposto.
- Un'interazione continua di questo tipo (gestuale - basata sulla deformazione) offre allo user un elevato senso e grado di controllo ed è molto adatta per le applicazioni che richiedono una regolazione "continua" del dato (come ad esempio lo *zooming*).
- Alla deformazione possono essere associate anche le interazioni di tipo "discreto" (*trigger* di una sola azione) come, ad esempio, effettuare una selezione di un elemento di un *menu*.
- Le interazioni che hanno richiesto un processo di apprendimento più veloce sono state quelle relative allo *zooming* (flessione del prototipo) e allo scorrimento di elenchi (torsione di una delle parti esterne rigide).
- L'utilizzo estensivo delle modalità di interazione presentate, nei casi in cui il materiale utilizzato per il corpo centrale era meno flessibile, influenzava negativamente le prestazioni e l'esperienza d'uso dello user, pur rimanendo a livelli "accettabili".
- Nella torsione esercitata con entrambe le mani, la percezione dello user di ciò che è "alto" e "basso" è determinata dalla mano dominante dello user e sarebbe utile implementare la possibilità di selezionare una modalità anche per persone sinistrorse.

Queste osservazioni sono molto significative e le riportiamo in questo paragrafo perché ci offrono un quadro complessivo molto chiaro riguardo le qualità di questo tipo di interazione.

In conclusione possiamo osservare che un'interazione di tipo continuo, applicata ai dispositivi *mobile*, permette di concretizzare modalità di interazione molto più espressive rispetto a quelle che sono comunemente implementate negli smartphone o nei tablet.

Crediamo infatti che, specialmente nel campo della comunicazione, le modalità di interazione continua possano veicolare una maggior quantità di informazioni rispetto ai sistemi basati su un'interazione di tipo "binario". Ne è un esempio il caso in cui, attraverso una diversa pressione esercitata sui tasti, si può modificare la grandezza del carattere di un messaggio di testo (Clarkson et al., 2005). Questo fattore permette di esprimere dei "contenuti" aggiuntivi rispetto alla semplice parola scritta.

Oltre a questo crediamo che la relazione che si crea fra il feedback visivo (dello schermo) ed il feedback inerente (proprio di un elemento fisico) permetta di porre in atto una modalità di interazione che risulta più "vicina" al corpo ed agli oggetti che lo circondano.

Gli oggetti ed i materiali che tocchiamo tutti i giorni ci forniscono una miriade di feedback tattili che non possono essere certo comparati a quella "fredda rigidità" propria degli schermi *touchscreen* che utilizziamo tutt'ora.

Strumenti e tecnologie delle TUIs

In questa sezione procediamo a fornire una visione d'insieme delle principali tecnologie e del funzionamento dei sistemi precedentemente citati.

Shaer e Hornecker (2010) forniscono un'interessante categorizzazione delle tecnologie applicate alle TUIs. In particolare la loro attenzione è focalizzata su tre principali tipi di tecnologie applicate:

- sistemi basati sugli RFID (Radio-Frequency IDentification),
- sistemi basati sulla *computer vision*,
- sistemi basati sull'utilizzo di sensori, microcontrollori e attuatori.

Oltre a questo forniscono una comparazione fra le tecnologie applicate in termini di:

- proprietà fisiche che possono essere rilevate,
- costo delle tecnologie,
- performance (efficienza nell'elaborazione del dato, velocità di risposta del sistema e fattori che possono influire nell'efficienza del sistema),
- estetica e robustezza,
- setup, calibrazione del sistema e scalabilità.

Altri ricercatori (Ullmer et al., 2005), circa un decennio fa, hanno identificato delle tipologie "fondamentali" di TUIs giungendo alla loro distinzione in *Interactive surfaces*, *Constructive assembly* e *Token+Constraint*.

Le *Interactive Surfaces* sono caratterizzate da elementi fisici che possono essere manipolati sopra una superficie piana, dove l'interazione avviene posizionando o mettendo in relazione tra loro gli elementi fisici di un sistema. Un esempio è il progetto Luminous Room Urp (Underkoffler e Ishii, 1999).

I *Constructive Assembly* sono sistemi composti da una serie di elementi modulari che possono essere connessi tra loro. In questo caso, il sistema "interpreta" l'ordine in cui gli elementi sono interconnessi permettendo allo user di combinare in diverse maniere i moduli per ottenere una diversa risposta dal sistema. Un esempio di questo modo di procedere sono i moduli del sistema roBlocks (Schweikardt et al., 2008).

I sistemi *Token+Constraint* utilizzano dei vincoli fisici presenti nella loro struttura (come ad esempio percorsi e forme "scavate" nel modello) su cui poter inserire o muovere gli elementi fisici del sistema. Questi vincoli, limitando meccanicamente gli spostamenti degli elementi, forniscono allo user una indicazione riguardo le azioni che possono essere compiute. Esempi di questa tipologia sono la Marble Answering Machine (G. C. Smith, 1995) o il già citato Tangible Query Interfaces (Ullmer et al., 2005).

Visto il carattere "eterogeneo" delle interfacce tangibili, sia dal punto di vista delle tecnologie applicate che dal punto di vista delle tipologie di interazione e delle soluzioni di design adottate, abbiamo tentato di riassumere la molteplicità delle TUIs esistenti attraverso la identificazione di alcuni "modelli".

A tale riguardo ci è sembrato opportuno partire da una visione che prendesse in considerazione, più che le tecnologie utilizzate, gli aspetti relativi all'interazione dello user con i sistemi, alla tipologia di feedback forniti dal sistema ed alle proprietà formali del design dei progetti.

Gli esempi proposti nello stato dell'arte e la letteratura sulle TUIs infatti ci mostrano come diverse tecnologie siano state "combinare" per giungere a un risultato qualitativo sia dal punto di vista funzionale che dal punto di vista dell'interazione.

La categorizzazione di Ullmer (Ullmer et al., 2005), per quanto "fondativa" e ben definita, a nostro avviso, non poteva includere fra gli approcci progettuali i modelli di TUIs apparsi da un decennio a questa parte nel campo della ricerca.

Ci è sembrato pertanto opportuno riflettere sui molteplici aspetti che accomunano le interfacce tangibili e cercare di giungere ad una categorizzazione che racchiudesse in sé la pluralità di tecnologie, di modalità di interazione e di soluzioni di design esistenti.

Comparando questi aspetti siamo giunti alla identificazione di tre "modelli":

- modello bidimensionale,
- modello integrato,
- modello morfico.

A seguire proporremo questi tre modelli facendo riferimento agli esempi, riportati nello stato dell'arte, che ci sono apparsi più significativi. Descriveremo le caratteristiche di queste tipologie di TUIs identificando le tecnologie implementate (ed il loro funzionamento), le innovazioni e i limiti delle soluzioni di design adottate, e gli aspetti qualitativi delle modalità di interazione proposte.

Prenderemo inoltre in considerazione aspetti fondamentali del design come le qualità e la tipologia dei feedback, il *mapping* tra forma e funzione, le proprietà dei materiali ed anche aspetti più "nascosti" come, ad esempio, l'ingombro dei sistemi.

Modello bidimensionale

Per "modello bidimensionale" intendiamo un sistema in cui gli input dell'utente possono essere espletati su una superficie piana, in cui l'elemento manipolabile non è soggetto a modifiche nella sua forma e struttura e fornisce i feedback "principali" sulla superficie stessa. Questi sistemi utilizzano solitamente elementi fisici cui vengono applicati dei *fiducial marker*. I *fiducial marker* permettono al sistema, in maniera molto precisa, di rilevare la presenza, l'identità e la rotazione (a livello bidimensionale) di più oggetti posti sulla superficie.

Le azioni esercitate sul modello (input) vengono identificate da una telecamera, con una buona capacità in termini di definizione, connessa ad un pacchetto software dedicato alla *computer vision*. A seconda delle librerie per la *computer vision* che vengono utilizzate, possono essere riconosciuti non solo i *marker* ma anche i gesti *multi-touch*.

In output, il software deputato all'elaborazione dei dati provvede a espletare un feedback che può essere di tipo visivo (mediante l'uso di un proiettore LCD o uno schermo LCD) e/o sonoro (Fig. 7). Spesso viene utilizzata un'illuminazione ad infrarossi per migliorare e facilitare il riconoscimento dei *fiducial marker* da parte del sistema.

Il *reactTable* (Jordà, 2008) utilizza una serie di *fiducial marker* appositamente realizzati per la piattaforma *reactIVision* (<http://reactivision.sourceforge.net/>) su cui si basa il funzionamento del sistema. Questo progetto (p. 23) rispecchia in pieno il modello descritto: gli input esercitati dallo user su una superficie vengono elaborati dal sistema e poi restituiti, in tempo reale, come feedback visivi e sonori.

Gli stessi *fiducial marker* del *reactTable* sono stati utilizzati per il progetto Venice Unfolding (Nagel et al., 2010), poiché sono scaricabili gratuitamente così come la piattaforma *open-source reactIVision* che li utilizza. Questo *framework* per la *computer vision*, utilizzabile con

diversi sistemi operativi, permette inoltre di riconoscere i gesti *multi-touch* operati sulle superfici.

Al posto dei *fiducial marker* possono essere utilizzati degli elementi fisici a cui vengono applicate delle gradazioni di colore ben distinte fra loro come nel caso del progetto Luminous Room Urp (Underkoffler e Ishii, 1999). Questa tecnica permette l'identificazione degli oggetti, quella della loro posizione in un dato spazio, etc. Ma essa, a differenza dei *fiducial marker*, limita le capacità di *object recognition* ad un numero ristretto di colori limitando, di conseguenza, il numero di elementi fisici utilizzabili.

In questo caso la proiezione sulla superficie avviene dall'alto e non dal basso (retroproiezione) compromettendo la corretta visualizzazione degli elementi con cui si interagisce (p.19). Il progetto Audiopad (Patten et al., 2002) utilizza dei *tag LC* (due per ogni elemento) che permettono di tracciare la posizione e l'orientamento dei modelli, misurando l'ampiezza della frequenza di risonanza di ogni *tag* attraverso un sistema di antenne progettate specificamente. I *tag LC* sono una versione semplificata dei *tag RF* e consistono in un circuito composto da una bobina di filo e un condensatore. Anche se qui il *tracking* degli elementi non avviene tramite il riconoscimento di un'immagine, inseriamo questo progetto in questo tipo di "modello" (*computer vision*) e non nei progetti basati sugli RFID, data la natura della struttura generale del sistema e la modalità di interazione.

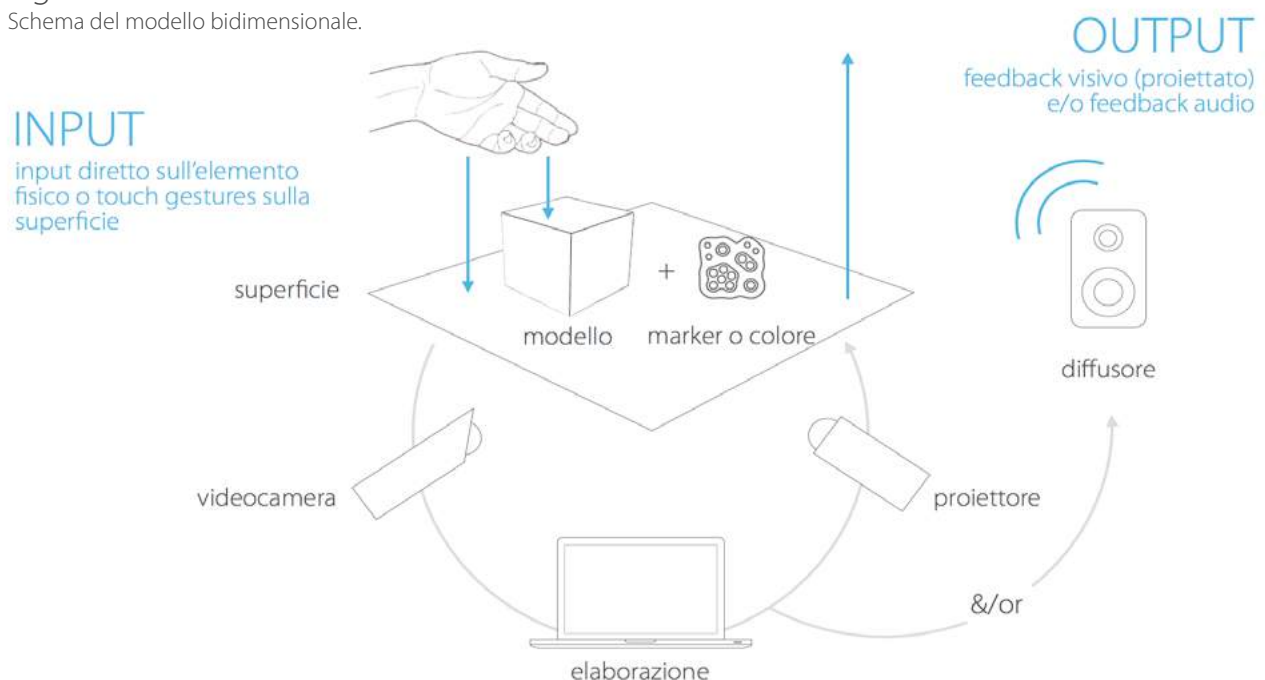
Nel contesto delle TUIs l'utilizzo di sistemi basati su questo modello sono molto diffusi, come abbiamo visto nel precedente capitolo, per un largo numero di applicazioni. Soprattutto in quelle nelle quali la visualizzazione di elementi e vincoli fisici disposti su di un piano bidimensionale rappresentano un fattore essenziale per lo svolgimento di attività in cui si rende necessaria una rappresentazione "spaziale" del dato. E' il caso appunto delle applicazioni sviluppate per l'urbanistica o per il problem solving.

Tuttavia questo modello, a nostro avviso, non soddisfa pienamente il paradigma di interfaccia tangibile o, quantomeno, non nella maniera in cui gli esempi esistenti sono stati progettati. L'interazione dello user si risolve, nella maggior parte dei casi, nella rotazione e nello spostamento di un numero più o meno ampio di elementi fisici su una superficie. Questi elementi possono essere identificati o essere messi in relazione tra loro (in base alla loro distanza) ma, solitamente, nessun'altra operazione "manipolativa" può essere attuata su di essi.

Questi ultimi non possiedono inoltre nessun feedback di tipo inerente (Wensveen et al.,

Figura 7

Schema del modello bidimensionale.



2004) perché i materiali utilizzati ed il tipo di struttura di cui sono composti sono rigidi e non modificabili. Ad esempio non possono essere piegati, strizzati, premuti con maggiore o minore intensità o sovrapposti al fine di determinare un cambiamento del “dato” cui essi sono associati.

Il problema che vogliamo evidenziare non riguarda tanto la validità di questo tipo di approccio ma il fatto che le azioni che possono essere esercitate dallo user sugli elementi fisici sono molto ridotte.

La qualità dell’interazione si riduce, a nostro avviso, proprio nel momento in cui solo alcune delle variazioni del “dato digitale” che questi sistemi propongono possono essere attuate dallo user manipolando l’elemento “fisico” del sistema e, per interagire con tutte le *features* proposte dal sistema, si fa spesso ricorso a modalità di interazione *finger-based*.

Gli elementi manipolabili sono “fisici” e le azioni che possono essere operate su di essi vengono mappate direttamente con il “dato digitale”: questo modello dunque rappresenta sicuramente un valido esempio di interfaccia tangibile e, al contempo, un superamento del paradigma WIMP.

Eppure viene da chiedersi quanto sia “largo” quel confine tra l’uso di un modello di TUIs di questo tipo rispetto all’utilizzo di uno schermo LCD di tipo *touchscreen*.

Se le operazioni che possono essere eseguite dallo user consistono nell’aggiunta di elementi e nella rotazione degli stessi, ci si domanda quale sia il reale valore dell’utilizzo di un elemento “fisico” a dispetto dell’utilizzo di una tecnologia “*touchscreen based*”. Non è un caso infatti che, in quasi tutte le interazioni studiate per il modello bidimensionale, alla manipolazione degli elementi fisici si associ quasi sempre un’interazione basata sull’utilizzo delle dita. Questo tipo di interazione fa riferimento a quelle *gestures* che utilizziamo, ad esempio, per eseguire determinate operazioni sugli schermi degli smartphones. In particolare intendiamo alludere a quelle *gestures* (<https://www.google.com/design/spec/patterns/gestures.html#>) sviluppate per l’utilizzo dei dispositivi *touchscreen based* come il *touch*, il *double touch*, il *drag*, il *pinch*, il *rotate*, etc. che vengono proposte, in molti dei progetti, come modalità di interazione che devono essere associate alla manipolazione degli elementi fisici.

In alcuni casi (ad esempio il progetto Luminous Room Urp) esse sono assenti ma, in quelli più recenti (ad esempio i progetti *reactTable* e *Venice Unfolding*) non solo vengono associate, ma sono necessarie al fine di operare un cambiamento effettivo e significativo del dato. Oltretutto, a dispetto di uno schermo *touch* (più o meno ampio), questi sistemi risultano più ingombranti perché la telecamera e il proiettore che questi sistemi sfruttano per tracciare la posizione degli elementi ed espletare i feedback visivi, devono essere disposte ad una distanza adeguata rispetto alla superficie su cui si opera. Questo fattore determina un discreto ingombro dell’intero sistema che, per forza, deve svilupparsi in altezza e non solo in larghezza e lunghezza. Per chiarire questo concetto in termini pratici, basti pensare al fatto che il cono di proiezione di un mini proiettore led, per coprire una superficie pari a 40cm di larghezza x 30 cm di altezza, necessita di una distanza dal piano di proiezione pari a 75cm (l’esempio è riferito al modello Philips PPX4010).

L’utilizzo della video-proiezione implica anche la necessità di utilizzare questi sistemi in ambienti con una scarsa illuminazione e, nel caso in cui la proiezione non avvenga dal retro (retroproiezione) ma frontalmente, si generano inevitabilmente delle ombre che inficiano la corretta visualizzazione degli elementi grafici proiettati e di quelli fisici disposti sul piano. Gli elementi che possono essere manipolati sono “passivi”, perché non subiscono alcuna deformazione nella loro forma o struttura. I feedback restituiti dal sistema si espletano non direttamente negli elementi che vengono manipolati ma nella loro rappresentazione, che può essere di tipo visivo (restituita sul piano su cui poggiano) o sonoro.

Il “modello bidimensionale”, in definitiva, rappresenta sicuramente un “ponte” che collega il paradigma WIMP ad un modello di interazione (TUI) che tende a decretarne il superamento. Tuttavia, a nostro avviso, si tratta di un modello che appare come un ibrido fra questi

due paradigmi sia per le sue caratteristiche formali (utilizzo di un piano su cui si espletano i feedback visivi) sia per le modalità di interazione che non coinvolgono “in maniera completa” gli elementi fisici che devono essere manipolati.

Modello integrato

Per “modello integrato” intendiamo un sistema in cui gli input dell’utente possono essere espletati su di un modello “mobile”, in cui l’elemento manipolabile integra sensori, attuatori e sistemi di trasmissione o di elaborazione dei dati che permettono di fornire i feedback del sistema direttamente dall’elemento fisico stesso (Fig. 8).

Questi sistemi, solitamente, integrano al loro interno dei microcontrollori: dispositivi elettronici generalmente integrati in un unico *chip* e che possono essere programmati per eseguire determinate funzioni di calcolo. Un programma di gestione, residente al loro interno in un’apposita area di memoria non volatile, permette infatti, attraverso una opportuna programmazione, di controllare l’output degli attuatori in base all’input esercitato dallo user sui sensori.

Questa tecnologia si è recentemente diffusa grazie alla comparsa sul mercato delle piattaforme Arduino (<https://www.arduino.cc/>). Questo è un sistema, progettato per il *physical computing* (Banzi, 2008) totalmente *open source*, composto da una parte software e una hardware. Il software è multiplatforma e utilizza un linguaggio di programmazione molto semplice, derivato dai linguaggi C e C++. Questo software permette di programmare il microcontrollore e di gestire il funzionamento dei sensori e degli attuatori a esso collegati. La parte hardware è composta da un circuito stampato che comprende, oltre al microcontrollore, dei PIN connessi alle porte I/O e un’interfaccia USB che permette di connettere la scheda al PC e di interagire con software esterni come Max/MSP, Pure Data e Processing. Chiaramente, quando parliamo di microcontrollori, non possiamo riferirci unicamente a questo sistema: esistono infatti da anni molti *microcontroller* sul mercato integrati su circuiti pre-assemblati o che possono essere integrati su circuiti stampati realizzati ad hoc. Ci piace però evidenziare questo progetto perché, a nostro avviso, ha radicalmente cambiato l’approccio alla programmazione creando una vastissima comunità di utilizzatori e, di conseguenza, un *database* di informazioni esteso a livello globale.

La facilità di utilizzo dei microcontrollori ha influito in maniera decisa sulla progettazione e la realizzazione delle TUIs da parte di progettisti e ricercatori nel campo dell’interaction design: ne sono un esempio molti progetti citati nello stato dell’arte come, ad esempio, il Cubelets (p. 21) o il Linguabytes (Hengeveld et al., 2013) un sistema *Arduino-based*.

Nel modello integrato i sensori e gli attuatori possono essere posti all’interno dei *case* che li ospitano e lo user può così ricevere i feedback visivi e tattili direttamente dagli elementi fisici che manipola. In questo senso lo spazio fisico dell’input corrisponde, favorevolmente, allo spazio dell’output (Sharlin et al., 2004).

Ma in questo caso non possiamo parlare solo di elementi fisici che si relazionano ad uno spazio (come nel caso del modello bidimensionale) ma, più specificamente, di forme che interpretano e determinano lo spazio dell’azione. L’elemento fisico “diventa forma” slegandosi dallo status di semplice supporto per i “tag” (come ad esempio i *tokens* del sistema *reacTable*) e introduce nuovi e diversi aspetti qualitativi ed estetici.

Definiamo quindi questo modello “integrato” perché comprende all’interno della forma (che diventa oggetto di design) quegli strumenti tecnologici che permettono allo user di manipolare l’elemento fisico e ricevere i feedback direttamente dalla forma stessa. A diffe-

renza del modello bidimensionale infatti, i feedback derivanti dalle azioni compiute dallo user non vengono rappresentati “sugli” elementi fisici del sistema (attraverso una video-proiezione ad esempio) ma vengono posti in essere “dalle” forme stesse (tramite attuatori integrati nel dispositivo).

Si crea dunque uno stretto legame tra la forma e la rappresentazione del dato che, in questo modello, sono legate da una relazione molto particolare: una relazione che interessa non solo gli aspetti funzionali del sistema ma anche quelli percettivi, estetici e significativi che una forma riassume in sé.

Ne è un esempio il Topobo, un prodotto che pur possedendo qualità estetiche discutibili, trae dalle diverse forme dei suoi moduli un elemento fondamentale nell’interazione con il sistema.

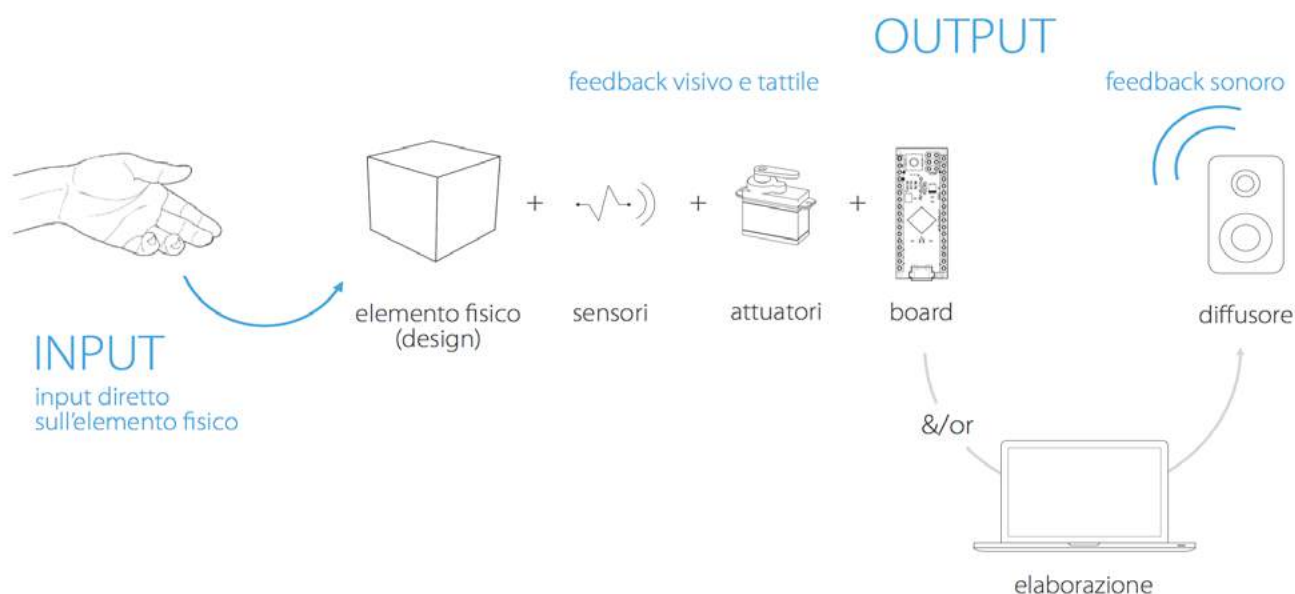
Tralasciando gli aspetti qualitativi della forma che, fatta eccezione per alcuni aspetti, sono sempre suscettibili di interpretazioni, i sistemi basati sul modello integrato permettono di sfruttare una varietà molto larga di sensori e, conseguentemente, consentono ai progettisti di immaginare, progettare e realizzare modalità di interazione più ricche ed articolate. Nel modello bidimensionale il sistema di *tracking* basato sulla *detection* di *tag* o di colori, infatti non attiva, dal nostro punto di vista, un’interazione che risulti “coinvolgente”, perché mette lo user in condizione di interagire solo attraverso la rotazione, lo spostamento o il ribaltamento degli elementi fisici del sistema. Inoltre, fatta eccezione per il progetto Thumblets (p. 17), gli elementi manipolabili degli esempi riferibili a questo “modello” non forniscono alcun tipo di feedback tattile allo user, cosa che invece avviene in molti esempi riferibili al modello integrato (come ad esempio il Cubelets o il Topobo).

Abbiamo accennato al concetto di spazio e, a questo proposito, possiamo notare che i sistemi basati sul modello integrato consentono di realizzare prototipi o progetti non ingombranti, al contrario di quello che avviene per le *Interactive Surfaces* (Ullmer et al., 2005) che richiedono, per loro natura, l’utilizzo di video-proiettori, elaboratori e superfici che occupano sia in larghezza che in altezza un ampio spazio.

Dall’altro lato, sempre a proposito di spazio, molti esempi di TUIs riferibili al modello integrato sfruttano le loro ridotte dimensioni e la possibilità di essere utilizzate in spazi ampi per attivare modalità di interazione che sfruttano in maniera piena il “linguaggio del corpo”. Con lo uPoi (Sheridan and Bryan-Kinns, 2008) ad esempio le azioni che lo user può compiere attraverso la rotazione dello strumento possono essere “espresse” in un ampio spazio

Figura 8

Schema del modello integrato.



generando modalità di interazione molto libere che instaurano una relazione tra il corpo e l'ambiente circostante. Modalità di interazione che, a differenza del modello bidimensionale, non costringe lo user ad interagire in un'area limitata.

I sistemi di questo tipo hanno inoltre il grosso pregio di poter essere trasportati facilmente, un fattore essenziale nel caso in cui i progetti siano destinati, ad esempio, ad ambiti terapeutico/riabilitativi dove molto spesso vi è la necessità di trasportare prototipi o progetti da una struttura all'altra. In questo senso il mercato, negli ultimi anni, ha proposto una serie di *single-board computer* (delle schede elettroniche che possiamo definire dei microcomputer) che utilizzano come CPU (unità di elaborazione centrale) un microprocessore.

Gli esempi di schede di questo tipo sono molte come, ad esempio, la Intel Galileo (<http://www.intel.it/content/www/it/it/do-it-yourself/galileo-maker-quark-board.html>) o la BeagleBone (<http://beagleboard.org/bone>). Queste schede, pur presentando dimensioni esigue, possiedono una maggiore capacità di calcolo rispetto alle schede basate su microcontrollore. Hanno inoltre una maggiore capacità di memoria e un maggior numero di ingressi per diverse periferiche.

Le schede elettroniche che integrano microcontrollori o altri sistemi di elaborazione (come i microprocessori) o di trasmissione dei dati, sono molto diffuse e impiegate nella realizzazione delle interfacce tangibili.

Il sistema Audiocubes (p. 26) ad esempio, contiene all'interno dei cubi che lo compongono, un circuito stampato provvisto di sensori ed emettitori ottici ed un processore di segnale digitale (DSP). L'alimentazione del sistema consiste in una batteria ricaricabile LiPo inserita all'interno di ogni cubo: questa è una delle caratteristiche principali del modello integrato dove, gli elementi fisici del sistema, possono operare senza la necessità di essere collegati alla rete elettrica.

Il suono può essere gestito da una software per PC realizzato appositamente per il sistema chiamata MIDIBridge (<https://www.percussa.com/what-are-audiocubes>) un controller MIDI audiovisivo a cui uno dei cubi deve essere connesso. Solitamente infatti le TUIs dedicate alla composizione musicale utilizzano un sistema di elaborazione del segnale audio residente su PC, per sfruttarne le maggiori capacità di elaborazione.

Anche i MagicCubes (pp. 91-92) utilizzano un sistema di elaborazione dell'audio posto esternamente rispetto agli elementi fisici. Attraverso una connessione *Bluetooth* la componentistica hardware del sistema inserita nei cubi (composta da un circuito stampato che integra un processore NordicRF, due accelerometri ed una batteria LiPo) può essere connessa all'*app* MusicTiles deputata a gestire i segnali audio. Il suono, in entrambi gli esempi, può essere diffuso attraverso le casse del PC o del *mobile device* oppure collegando gli stessi ad un impianto audio. Nelle TUIs dedicate alla performance musicale quindi i feedback audio non provengono direttamente dagli elementi fisici del sistema, ma sfruttano un impianto audio al fine di ottenere una diffusione qualitativa del suono.

In conclusione possiamo riassumere in quattro punti le qualità che, a nostro parere, presenta un progetto basato sul modello integrato. Questo modello permette di:

- Interagire con elementi fisici che non devono essere posizionati e/o manipolati solo su superfici o aree delimitate;
- espletare nello stesso spazio e negli elementi fisici stessi (dove avviene l'input) sia i feedback visivi che tattili;
- inserire all'interno degli elementi fisici stessi un largo numero di sensori e attuatori che permettono ai progettisti di arricchire l'esperienza d'uso dello user;
- introdurre un'interazione che è strettamente correlata al concetto di forma (qualità di *affordance*, estetiche, ergonomiche, etc..) E, dunque, al design dell'oggetto.

Modello morfico

Per “modello morfico” intendiamo un sistema in cui gli input dell’utente vengono espletati direttamente sul modello che si modifica nella sua struttura (Fig. 9) generando un feedback tattile che può essere associato ad altri feedback (visivi, sonori, etc.).

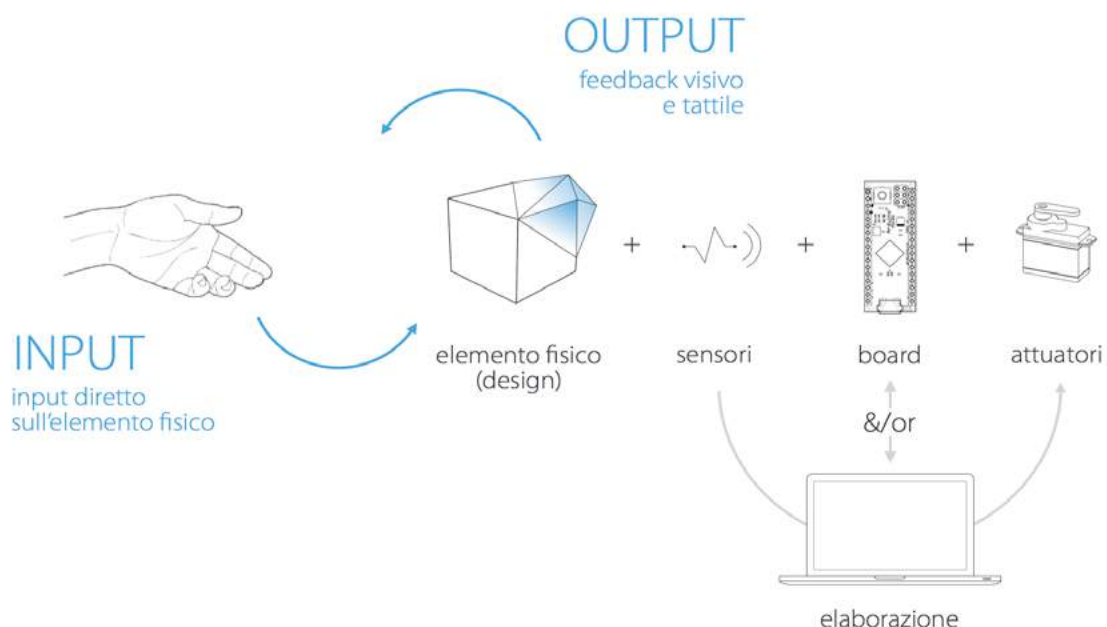
Questi sistemi, ancora relegati allo “status di prototipi”, sono quelli che, dal nostro punto di vista, riescono ad interpretare in maniera migliore il concetto delle interfacce tangibili che interesseranno la ricerca in futuro. In particolare, quando ci riferiamo a questo tipo di sistemi, facciamo riferimento al percorso di ricerca, e ai prototipi, realizzati dal Tangible Media Group del MIT, come ad esempio il progetto InFORM (Follmer et al., 2013) e il jamSheets (Ou et al., 2014).

Nel 1997 Ishii e Ullmer presentavano la loro visione sulle interfacce tangibili attraverso il concetto dei “Tangible bits”. Secondo i due autori le interfacce tangibili, incarnando fisicamente l’informazione digitale (i bits tangibili), possono rappresentare il superamento del paradigma dei “Painted bits” ovvero del modello di interazione con le GUIs (Graphical User Interfaces) che attualmente dominano, per così dire, la relazione che abbiamo con il mondo digitale. Le TUIs quindi possiedono il vantaggio, rispetto alle GUIs, di “nobilitare” le abilità percettive, motorie e manipolative che l’uomo ha sviluppato nel tempo, nella sua relazione con il mondo fisico.

Tuttavia questa visione, come ammettono gli stessi autori, tende a scontrarsi con la “rigidità” dei materiali degli elementi fisici se comparata con la “fluidità” del dato digitale (Ishii e Ullmer, 1997). In effetti, quando parliamo di manipolazione del dato, le interfacce tangibili devono inevitabilmente confrontarsi con materiali e tecniche realizzative che non permettono agli elementi fisici dei sistemi di modificarsi nella loro struttura coerentemente all’azione esercitata dallo user.

Per semplificare il concetto, potremmo dire che, ad esempio, con il modello integrato possiamo manipolare un cubo in materiale morbido (che comprende sensori al suo interno) ed ottenere una modifica del dato cui il cubo è associato ottenendo così un feedback tattile, determinato dal materiale e dalla deformazione della forma, ed eventuali feedback visivi o sonori. Nel processo inverso invece, non possiamo modificare la struttura della for-

Figura 9
Schema del modello morfico.



ma attraverso l'elaborazione digitale del dato (da bit ad atomo) se non utilizzando attuatori e tecniche realizzative particolari in grado di modificare meccanicamente la forma stessa. In questo senso, nel 2012, gli stessi ricercatori hanno introdotto un concetto, chiamato "Radical Atoms" (Ishii et al., 2012), che si pone un passo avanti rispetto al concetto di "bit tangibile". In questo approccio essi immaginano una nuova (ipotetica) generazione di materiali (atomi) che possono dinamicamente assumere diverse configurazioni come avviene, ad esempio, per gli elementi che compongono una GUI (bit). Il "Radical Atom" è quindi quel materiale che può essere "elaborato" e trasformato e nel quale il *coupling* fra l'elemento fisico e il dato digitale può essere attuato mediante una relazione biunivoca: da atomo a bit e da bit a atomo.

Definiamo quindi "modello morfico" tutte quelle interfacce tangibili "dinamiche" in cui lo user può manipolare un elemento fisico e ottenere una risposta dal sistema e dove, a sua volta, il sistema può memorizzare, modificare, riprodurre o riportare allo stato iniziale la forma dell'elemento fisico che viene manipolato.

Questa relazione fra user e sistema è molto complessa e articolata e implica l'instaurarsi di dinamiche di interazione che possono suscitare perplessità di vario genere. Una fra tutte riguarda l'implementazione di metodologie di elaborazione automatica dei dati in quei processi di genesi della forma che, dal nostro punto di vista, dovrebbero rimanere di esclusivo appannaggio delle abilità dell'uomo.

Per chiarire il concetto possiamo citare l'esempio del progetto "Perfect red" (Ishii et al., 2012, p. 47) in cui viene ipotizzato che un materiale simile all'argilla possa essere manipolato, estruso o scavato dallo user ricalcando le metodologie di modellazione dei sistemi CAD (Computer-Aided Design). L'idea è sicuramente affascinante e questa modalità di interazione potrebbe sicuramente cambiare il futuro dell'artigianato o del design. Quello che però non convince, a nostro parere, è l'idea che manipolando un pezzo di argilla per creare una pallina l'elaborazione digitale ne modifichi la struttura permettendo così di ottenere una "sfera perfetta" (<http://tangible.media.mit.edu/project/perfect-red/>) proprio come se fosse stata generata attraverso un processo di modellazione 3D digitale. Ci sembra che, in qualche modo, con la parola "sfera perfetta" venga proposto un modello di interazione in cui l'abilità nel realizzare una forma impeccabile sia appannaggio di tutti (nessuno escluso) e che le attività *trial-and-error* (Sharlin et al., 2004) che utilizziamo per imparare a svolgere bene un determinato compito, sfruttando i nostri sensi e la nostra esperienza, non vengano qui contemplati.

Crediamo invece fermamente nel fatto che il designer dell'interazione debba progettare soluzioni atte ad enfatizzare, facilitare o stimolare le abilità e la sensibilità dell'uomo, senza dimenticare però le differenze che, riguardo a queste due caratteristiche, ci contraddistinguono l'uno dall'altro.

Tuttavia rivolgendo uno sguardo ai possibili campi applicativi di queste Material User Interfaces (Ishii et al., 2012) ci piace pensare che in un futuro non troppo lontano questa tipologia di TUIs possano cambiare le modalità di progettazione (Leithinger et al., 2013) e di realizzazione di prototipi e modelli nel campo del product design, nell'arte o nei processi di *clay-modelling* dei veicoli.

In questo senso, possiamo immaginare una sfera in materiale malleabile che può essere formata a piacere dallo user e "memorizzata" dal sistema e poi riprodotta attraverso processi di produzione additiva (stampa 3D). Oppure, possiamo immaginare che il sistema sia in grado di memorizzare i processi di manipolazione a cui viene sottoposta la sfera, in modo tale che lo user possa annullare le modifiche oppure "salvare" una determinata forma: proprio come avviene quando, tramite la tastiera del PC, utilizziamo le combinazioni "Ctrl+Z" o "Ctrl+S".

Un esempio, in forma di prototipo, di questo concetto sono i già citati jamSheets (p. 16), dei "layer" che possono essere liberamente manipolati e che, attraverso un processo di aspi-

razione e insufflazione di aria al loro interno, possono “mantenere” o riprodurre le forme create dallo user.

In questo caso, a differenza delle TUIs che “appartengono” al modello integrato, i prototipi non contengono al loro interno gli attuatori che sono necessari a concretizzare la deformazione meccanica (automatizzata) delle forme. Per attuare queste deformazioni i ricercatori hanno infatti realizzato degli involucri ermetici (che contengono “fogli” di vario spessore e materiale) che possono essere collegati ad un sistema di aspirazione e insufflazione dell’aria. In tal modo hanno dovuto prendere atto che per deformare o irrigidire i layer è quindi necessario utilizzare un sistema che deve essere posto esternamente rispetto al prototipo. Un altro esempio è il progetto inFORM, del quale abbiamo già parlato ampiamente in precedenza (p. 15). In questa sede ci sembra opportuno evidenziare un aspetto che riteniamo di non minore importanza rispetto a quelli già evidenziati ovvero l’ingombro (allo stato attuale) dei prototipi.

In questo caso gli attuatori meccanici che permettono di generare le forme sono disposti all’interno di una struttura che si sviluppa per un’altezza complessiva di 1100mm.

Ciò comporta un ingombro notevole che, tuttavia, non inficia le qualità di questa proposta della ricerca.

Per questi motivi, come vedremo nel Design case 1, abbiamo preferito, nella nostra ricerca, rivolgere l’attenzione a materiali deformabili “passivi”. Sfruttando le proprietà di materiali come la gomma (p. 75) e attraverso opportune tecniche di progettazione della struttura interna del prototipo (pp. 48-49), siamo stati in grado di fornire un feedback tattile allo user (correlato alla modifica del dato) e mantenere, al contempo, dimensioni ridotte.

A close-up, black and white photograph of a dark, textured object, possibly a piece of wood or metal. The object features a prominent heart-shaped cutout on the left side. The surface is highly detailed with various textures, including a fine, linear pattern and a smoother, more uniform area. The lighting creates strong highlights and deep shadows, emphasizing the three-dimensional form and the intricate details of the object's design.

DESIGN
CASE
1



Contesto applicativo

Squeeze Me nasce come progetto di ricerca all'interno del progetto europeo Accompany (Acceptable robotiCs COMPanions for AgeiNg Years - <http://accompanyproject.eu>, n. 287624), cofinanziato dalla Commissione Europea inserito all'interno del 7° Programma Quadro (FP7-ICT-2011-7" with funded under "ICT for Ageing and Wellbeing - ICT-2011.5.4 - contract number 287624). Al progetto hanno preso parte diversi partner europei: The University of Hertfordshire (UH) Regno Unito, la Hogeschool Zuyd (HZ) Olanda, l'istituto Fraunhofer (Fraunhofer) Germania, la University of Amsterdam (UVA) Olanda, il centro Maintien en Autonomie à Domicile des Personnes Agées (MADOPA) Francia, la University of Birmingham (UB), United Kingdom e l'Università di Siena (UNISI).

Il progetto Accompany, ormai concluso, ha visto lo sviluppo di uno *smart environment* che include un robot assistivo, il Care-O-bot®, deputato ad assistere l'anziano all'interno del proprio ambiente domestico. Il Care-O-bot® è un robot capace di muoversi autonomamente e/o in maniera semi-controllata all'interno di un ambiente domestico intelligente (Amirabdollahian et al., 2013). E' equipaggiato con un braccio dotato di sette gradi di libertà e di una "mano artificiale" che gli permette di afferrare gli oggetti, e un sistema dedicato di sensori e telecamere che gli consentono di ricreare una mappatura tridimensionale per muoversi all'interno dell'ambiente in cui opera. Questa tipologia di robot trova un'applicazione privilegiata nel contesto della "robotica assistiva" che si rivolge alla riabilitazione e/o al supporto di persone fragili o con disabilità sia fisiche che cognitive.

In particolare, il Work Package 2 (Social and empathic interaction design) assegnato all'Università di Siena e coordinato dalla Prof.ssa Patrizia Marti, si è occupato di progettare modalità di interazione, tra user e robot, che fossero in grado di instaurare una relazione di tipo empatico e rispondente alle aspettative sociali dello user. All'interno di questo progetto, chi scrive, si è occupato del design della grafica, delle maschere "espressive" e delle modalità di interazione con la GUI (p. 52), del design delle maschere dinamiche e della realizzazione dei video-scenari (coadiuvando la sperimentazione condotta - p. 65), del design della cover Squeeze Me e della PCB (p. 76) e della realizzazione dei nuovi sensori resistivi di forza (p. 49).

Ipotesi di ricerca

Nel campo della robotica, per lungo tempo, i robot sono stati sviluppati soprattutto in ambito industriale come macchine atte a supportare le attività lavorative umane: in alcuni casi "potenziando" e in altri sostituendo l'intervento dell'essere umano generando riscontri sociali ed economici di non poco conto. Tuttavia, di recente, abbiamo assistito al nascere della "robotica assistiva", una branca della robotica volta alla cura o al supporto di persone fragili o con disabilità. In questa ottica sono stati progettati dei robot contraddistinti da caratteristiche "sociali" e che sono in grado di esibire comportamenti appropriati nell'interazione tra robot e essere umano (Shibata et al., 2001). Ne è un esempio il progetto Paro (Wada and Shibata, 2009), una foca robotica dotata di una pelliccia "sensorizzata" che è in grado di reagire, ad esempio, a stimoli esterni come carezze o suoni prodotti dallo user. E' stata testata con successo in diversi contesti terapeutici come ospedali, istituti di riabilitazione, cure a domicilio o nel trattamento della demenza (Marti et al., 2006).

Seguendo per alcuni aspetti questo approccio, la nostra ipotesi di ricerca si è basata sull'i-

dea che quanto più i comportamenti e gli “stati emotivi” del robot si adeguano alle aspettative sociali dell’essere umano tanto più l’interazione può risultare significativa e coinvolgente. In questo senso si è pensato di progettare un’interfaccia grafica (da integrare nel tablet con cui è possibile interagire con il robot) caratterizzata dall’utilizzo di maschere empatiche dinamiche, di una visualizzazione in cui lo user può esplorare l’ambiente attraverso gli “occhi” del robot (*robot-view*) e di funzionalità (azioni *context-dependent*) in grado di instaurare una relazione di tipo empatico e emozionale fra user e sistema digitale.

Nel paper 1 e 2 vengono illustrati i processi di realizzazione e di valutazione delle soluzioni adottate nella realizzazione delle maschere espressive.

Sul piano “tangibile” abbiamo invece esplorato le possibilità di utilizzo di una TUI, in forma di cover interattiva da utilizzare per il tablet che integra la GUI, che permettesse allo user di attirare l’attenzione del robot, attraverso un’interazione di tipo continuo (Doherty and Massink, 1999) esprimendo e condividendo in maniera espressiva desideri e bisogni.

Ispirazione

Al progetto abbiamo iniziato a lavorare quando alcune soluzioni erano state definite. In particolare dal gruppo di ricerca era stata ipotizzata l’intenzione di inserire nella GUI una modalità di visualizzazione attraverso gli occhi del robot (*robot-view*) e di realizzare una cover per il tablet in grado di concretizzare una modalità di interazione di tipo continuo con il robot. In questo senso era stata realizzata una maschera statica attraverso la quale lo user poteva vedere attraverso gli occhi del robot e una cover “rigida” in ABS (acrilonitrile-butadiene-stirene, un polimero termoplastico) realizzata con il processo di stampa 3D FDM (Fused Deposition Modeling). La cover integrava sul retro, in una piccola porzione della superficie, un tasto provvisto di un sensore di “pressione” con il quale lo user poteva interagire con il sistema. Per l’interfaccia grafica del sistema abbiamo ridefinito sia le modalità di interazione che tutti gli elementi grafici del sistema riprogettando il design della GUI. In particolare abbiamo realizzato, attraverso tecniche di *morphing*, delle “maschere dinamiche” ispirate alle sei espressioni di base descritte da Ekman (1999) che potevano, in una maniera molto fluida, rappresentare il passaggio del robot da uno stato emotivo all’altro (Fig. 10).

Figura 10

Rendering di due “maschere dinamiche”. Al centro si possono notare le diverse png. realizzate per rendere “fluida” il passaggio da una maschera (Neutral, a sinistra) all’altra (Angry, a destra).



Lo studio e gli schizzi preliminari delle espressioni, ispirati dall'opera di autori come ad esempio Le Brun (1727) hanno positivamente influito nel modello e nell'estetica delle maschere espressive realizzate (Iacono et al., 2014 p. 862).

Per quanto riguarda la cover, abbiamo ridisegnato completamente l'interfaccia tangibile (Fig. 11), introducendo nuove soluzioni progettuali e tecniche di prototipazione (descritte nel paper 3, p. 72). In particolare abbiamo pensato che l'utilizzo di materiali morbidi, una sensistica progettata ad hoc ed un design dal carattere più ergonomico potessero enfatizzare il concetto di interazione continua che stava alla base del progetto iniziale.

Anche in questo caso l'ispirazione del design della cover si basa sullo studio dell'anatomia dove, per rendere l'oggetto più facilmente afferrabile, ci siamo ispirati per il design alla forma delle ossa degli arti inferiori (come la tibia) che abbiamo interpretato come uno dei "primi tool" utilizzati dall'uomo.

Interfacce tangibili

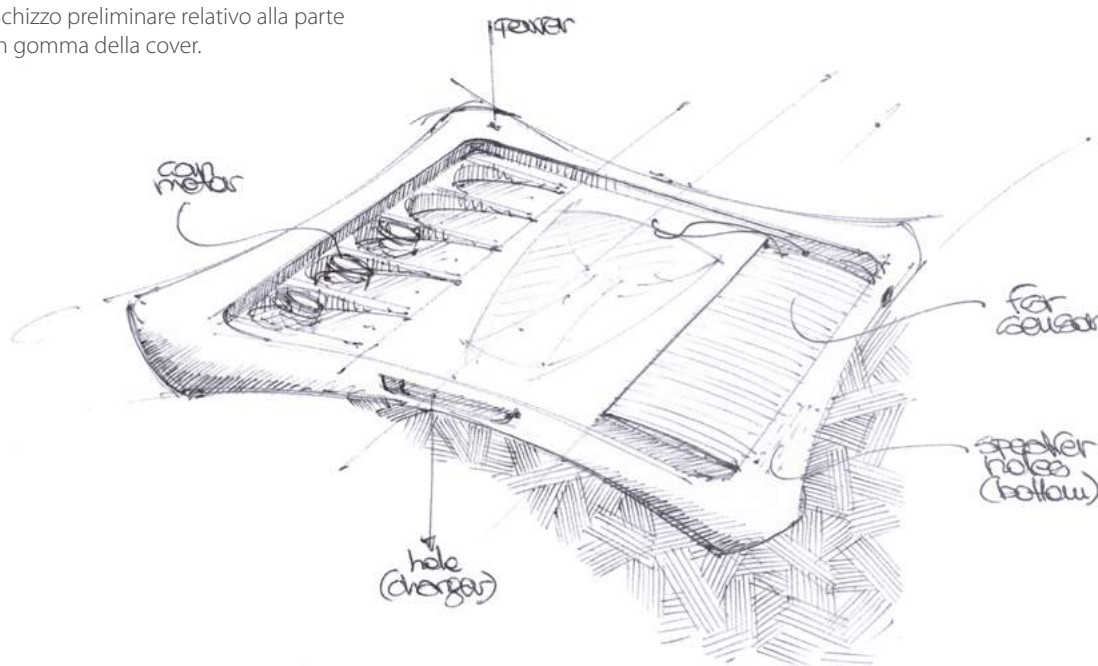
Nell'ambito di ricerca sulle interfacce tangibili, la cover interattiva Squeeze Me rappresenta sicuramente un'innovazione per quanto riguarda le TUIs destinate al campo applicativo della comunicazione.

Nella progettazione di tale cover ci è sembrato significativo l'esempio offerto dal prototipo Kinetic DUI-RP (Kildal et al., 2012). I ricercatori hanno sviluppato un *mobile device* "flessibile" introducendo un dispositivo dalla struttura deformabile che consente allo user di interagire con le sue funzioni manipolando il *device* stesso.

Squeeze Me invece, essendo una cover (un involucro che "riveste" il tablet), può essere utilizzata su qualsiasi tablet. E' infatti composta da una parte rigida nella quale è contenuta l'elettronica e una parte morbida che, opportunamente dimensionata, può adattarsi a diversi modelli di tablet attualmente in commercio. Nel caso specifico la cover è stata dimensionata e progettata per ospitare un tablet Asus Eee Pad Transformer Prime TF201 realizzando opportuni fori sulle parti laterali che consentono allo user di accedere facilmente a tutti gli ingressi e di non occludere l'obiettivo della camera e gli *speaker* del dispositivo.

Figura 11

Schizzo preliminare relativo alla parte in gomma della cover.



La cover Squeeze Me permette alla persona di interagire in maniera espressiva con il robot: la pressione che viene esercitata sulla parte posteriore della cover infatti, viene perfettamente "mappata" con i comportamenti espressivi della maschera dinamica e con la velocità di esecuzione dei *task* del Care-O-bot®.

I movimenti del robot sono quindi correlati alla pressione che lo user esercita sulla cover: premendo in maniera lieve il robot inizia a muoversi più rapidamente (rispetto alla velocità di base di esecuzione dei *task*) mentre, con una pressione più energica, il robot inizia a muoversi in maniera molto rapida.

Una pressione energica applicata alla cover per un tempo prolungato risulta invece in un arresto del Care-O-bot® che, attraverso la maschera dinamica, mostra un'espressione di rabbia, facendo intendere che un richiamo insistente e prolungato è sconsigliato ed inopportuno. In questo senso abbiamo proposto nell'interazione uomo-robot una componente dal "tratto umano" dove, quando veniamo sottoposti ad una richiesta ossessiva, reagiamo con stizza e frustrazione.

Seguendo le osservazioni qualitative descritte da Kildal et al. (2012) e alla luce di intuizioni personali, abbiamo pensato di proporre una cover in cui lo user potesse liberamente utilizzare entrambe le mani per "strizzare" la cover. Questo prototipo si differenzia dal precedente in cui lo user poteva interagire con la cover esercitando una maggiore o minor pressione con il dito indice su un piccolo tasto posto sul retro della cover.

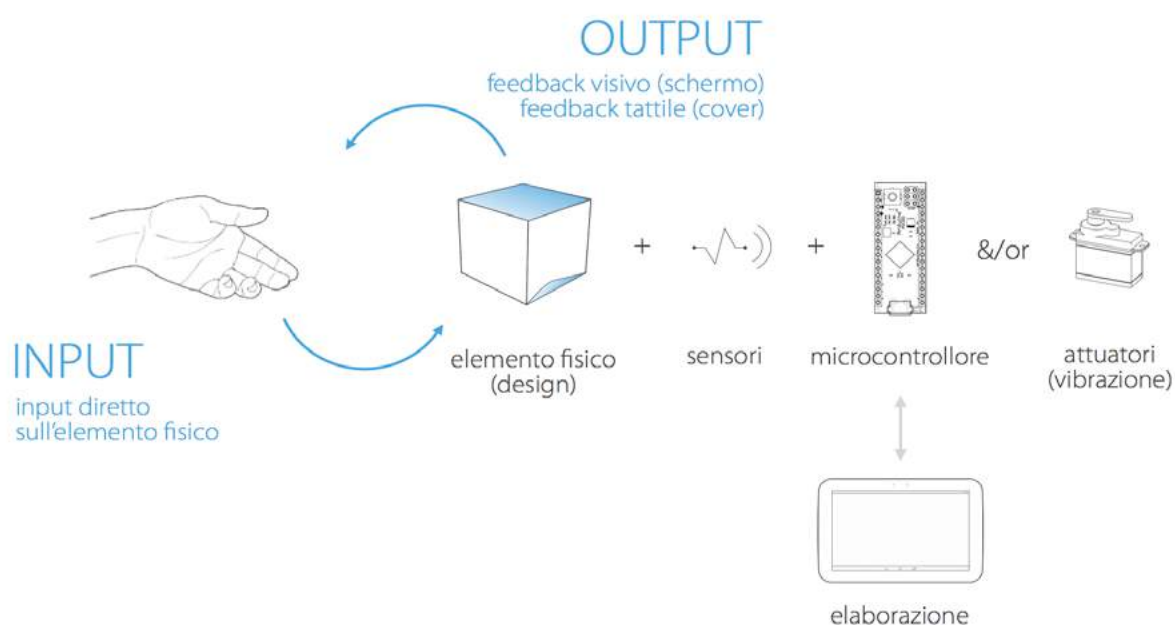
I sensori di pressione integrati nel retro della cover Squeeze Me infatti ricoprono quasi la metà della sua superficie e sono posizionati nei punti in cui le dita poggiano quando il tablet viene sorretto permettendo allo user di esercitare la pressione senza dover staccare le mani dal dispositivo o ricercare specifiche zone "sensibili".

La pressione esercitata dallo user permette di attivare un'interazione molto espressiva (Marti, 2010) che, nel nostro caso, viene associata ad una funzione che offre un elevato senso e grado di controllo nelle azioni (come il movimento del robot e la modificazione della maschera dinamica) che richiedono una regolazione "continua" del dato (Kildal et al., 2012, p. 1875).

La cover Squeeze Me può essere considerata una TUI che si pone a metà tra il modello integrato e quello morfico (Fig. 12). Essa rispecchia il primo modello in quanto contiene al suo interno i sensori, il microcontrollore ed il modulo Bluetooth (che gli consentono di trasmettere i valori dei sensori al tablet), l'alimentazione (una batteria LiPo da 3.7 V a 1400mAh) e

Figura 12

Schema del sistema della cover Squeeze Me.



gli attuatori (feedback tattile della vibrazione del tablet). Inoltre gli input dell'utente vengono esercitati nello stesso spazio in cui vengono espletati gli output (per quanto riguarda i feedback visivi e tattili del tablet) e la cover può essere utilizzata in qualsiasi punto dell'ambiente domestico (p. 44). Allo stesso tempo lo Squeeze Me si avvicina al modello morfico (p. 39) dove, attraverso le proprietà del materiale in cui è realizzato, riesce a fornire un feedback tattile (anche se passivo) in cui la deformazione esercitata dallo user risulta perfettamente mappata con la risposta del sistema.

Prototipo

Il design della cover è stato progettato realizzando a mano degli schizzi preparatori che proponevano diverse soluzioni estetiche e progettuali. Per testare la qualità della soluzione scelta è stata realizzata una forma in cartone che riproduceva sia le dimensioni che gli spessori ipotizzati negli schizzi e che comprendeva, sul retro, dei sensori resistivi di forza (force-sensing resistors).

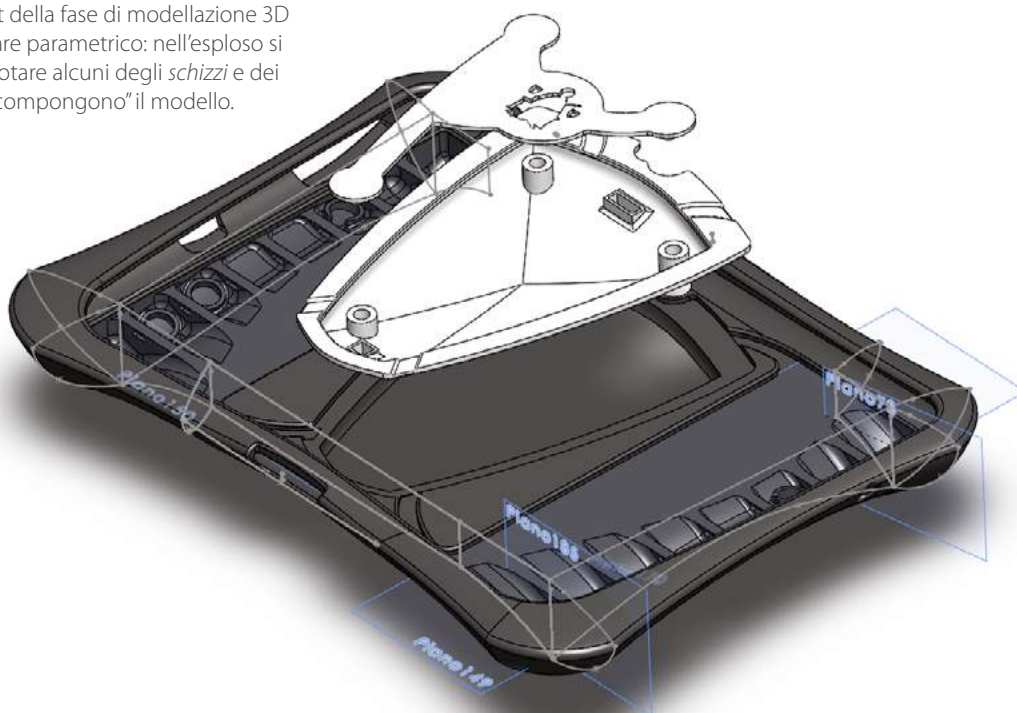
Collegando i sensori a una piattaforma Arduino2009 connessa ad un PC su cui veniva riprodotto il *morphing* delle espressioni della maschera dinamica, si è potuta valutare la resa dell'interazione della TUI rispetto ai feedback visivi che si sarebbero avuti sul tablet. Dopo ulteriori verifiche tecniche si è passati alla realizzazione del modello 3D.

Quest'ultimo è stato realizzato con un software di modellazione tridimensionale parametrico, SolidWorks, che viene solitamente utilizzato nel campo dell'ingegneria meccanica per la progettazione di apparati complessi. Il risultato del design formale della cover dimostra che questo tipo di software può essere utilizzato con ottimi risultati anche per la realizzazione di un oggetto di design (Fig. 13).

La cover è stata prodotta utilizzando la tecnica di stampa 3D DLP (Digital Light Processing) una tecnologia che consiste, in parole semplici, nell'indurimento sequenziale di una serie di strati di polimero liquido che vengono esposti alla luce di un proiettore DLP in condizioni di luce inattinica. Questa tecnica ci ha permesso di ottenere una qualità di stampa molto più alta rispetto a quella che si può ottenere con una stampante 3D FDM e ci ha consentito,

Figura 13

Screenshot della fase di modellazione 3D con software parametrico: nell'esploso si possono notare alcuni degli *schizzi* e dei *piani* che "compongono" il modello.



nella fase di modellazione, di poter dimensionare gli spessori e realizzare dettagli con un elevato grado di precisione.

I sensori di "pressione" o, più propriamente, sensori resistivi di forza sono stati realizzati manualmente al fine di ottenere dei sensori dalle dimensioni adeguate alla cover altrimenti non reperibili in commercio. In particolare abbiamo sostituito i primi sensori realizzati (descritti nel paper 3, p. 76) ricorrendo a una tecnica che ci consentisse di ottenere uno spessore pari o inferiore al millimetro.

Questi sensori sono stati realizzati posizionando una striscia di Velostat® - un materiale costituito da una lamina polimerica (poliolefine) che viene impregnato di carbonio per renderlo conduttivo - tra due fogli di alluminio provvisti di un lato plastificato. L'utilizzo di un *layer* in polietilene espanso opportunamente forato (posto tra uno dei fogli in alluminio e il materiale resistivo) ci ha permesso di mantenere isolati i componenti quando sulla cover non veniva esercitata nessuna pressione (o *squeezing*).

In un'ultima fase, si è proceduto con il redesign delle parti laterali inferiori della cover realizzando degli incavi che rendono la struttura più leggera e deformabile rispetto allo *squeezing* esercitato dall'utente e che possono ospitare 6 motori di vibrazione (Figg. 14 e 15) che consentono così di attuare l'informazione (feedback) nel medesimo punto dell'azione (Wensveen et al., 2004).

Nel paper 3 sono descritti i processi di realizzazione e implementazione della cover.

Sperimentazione e valutazione

La valutazione delle soluzioni di design introdotte nella GUI sono state condotte attraverso uno studio che ha avuto lo scopo di comprendere se, e in che misura, le maschere empatiche fossero in grado di generare una relazione di natura empatica con il robot, nel comprendere i suoi "stati emotivi" e nell'assumere la prospettiva dell'"altro".

Alle sessioni hanno partecipato 60 persone di entrambi i sessi alle quali è stato chiesto di visionare quattro "video-scenari" che venivano somministrati secondo due modalità: "A" (maschera statica) e "B" (maschera dinamica). I risultati hanno dimostrato una notevole pre-

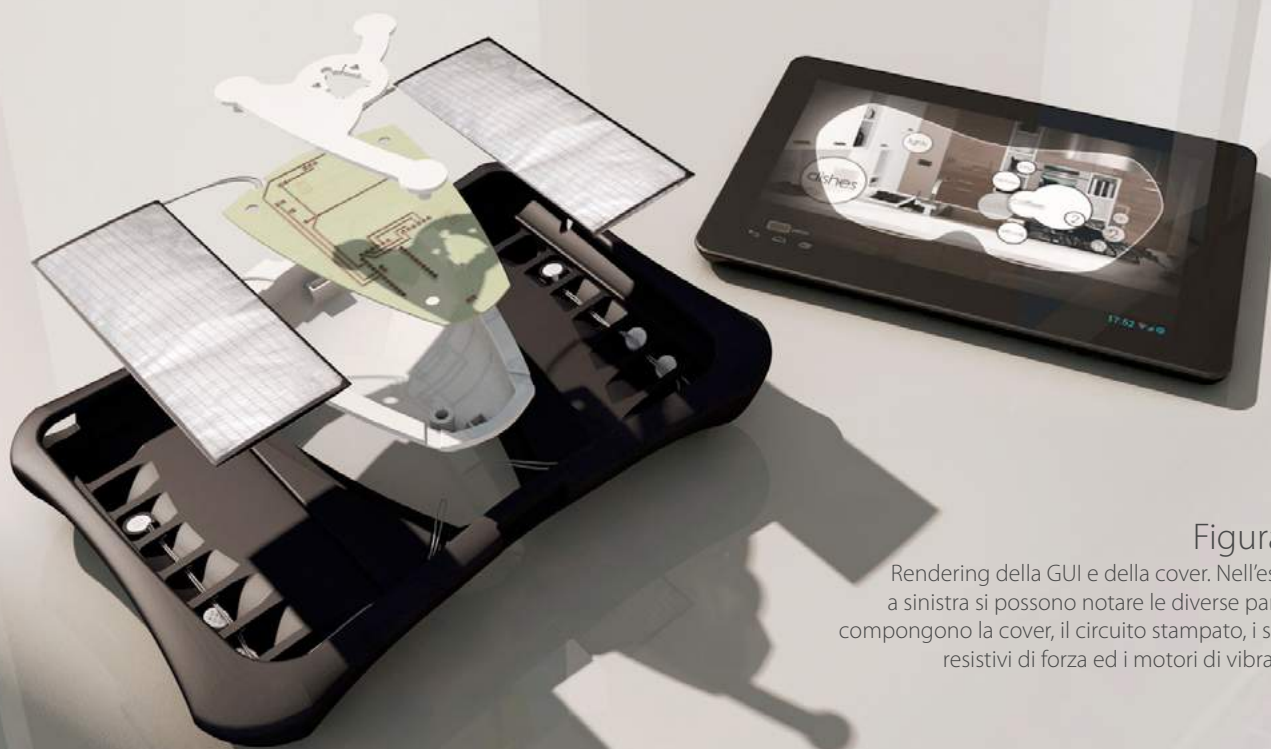


Figura 14

Rendering della GUI e della cover. Nell'esplosione a sinistra si possono notare le diverse parti che compongono la cover, il circuito stampato, i sensori resistivi di forza ed i motori di vibrazione.

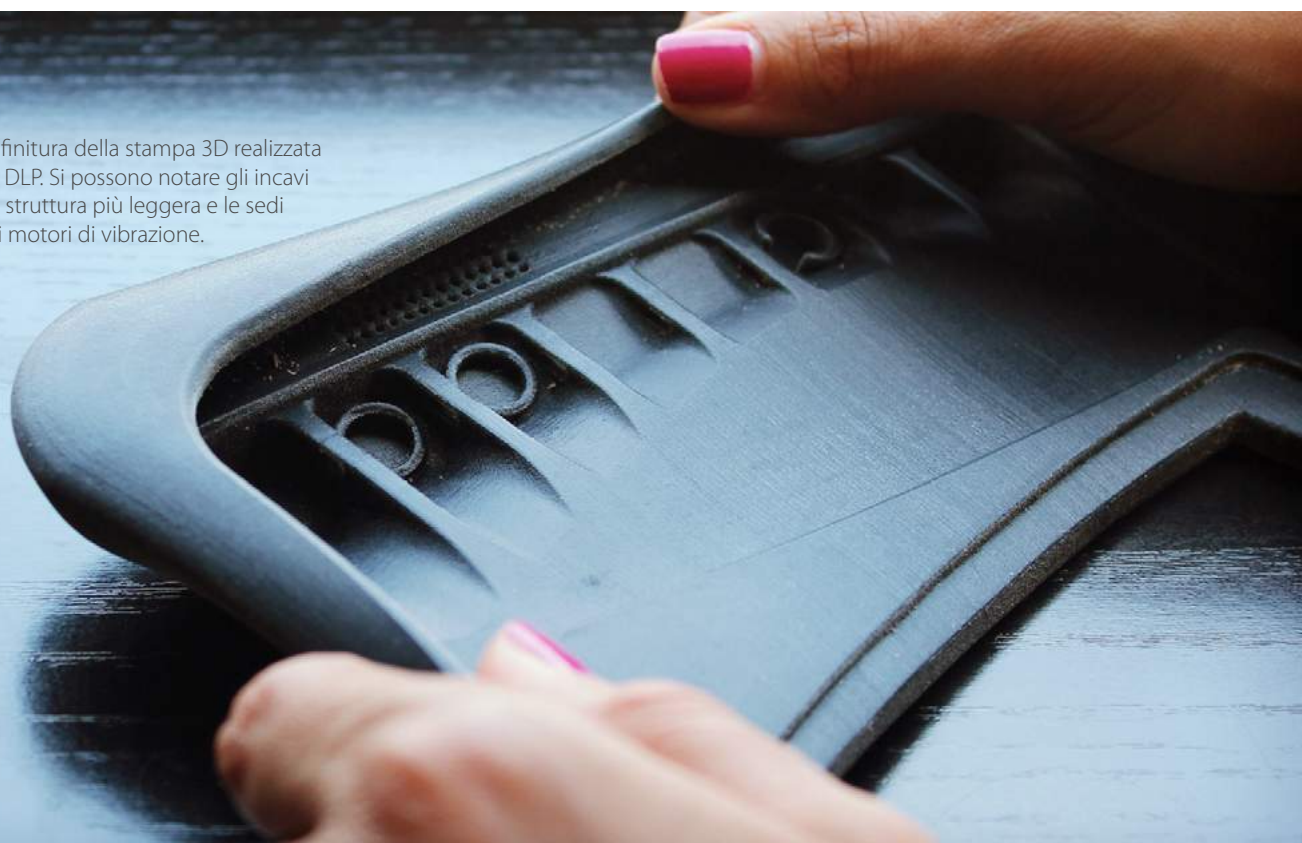
ferenza per la versioni in cui veniva proposta la maschera dinamica che risultava più comprensibile e coinvolgente rispetto a quella statica.

Nel paper 2 sono riportati i risultati dello studio e le metodologie di valutazione adottate. Per quanto riguarda la cover Squeeze Me lo studio valutativo (Marti et al., 2015) ha dimostrato che l'utilizzo della cover in un'interazione di tipo continuo (nel caso specifico lo *zooming* con la fotocamera del tablet) è stata maggiormente apprezzata per le sue qualità edoniche, rispetto alle normali *gestures* di *pinch* e *slide* utilizzate nelle comuni *app*.

La ricerca svolta all'interno del progetto Accompany è stata accolta favorevolmente dalla *review* finale della Commissione Europea (lettera del 14 Gennaio 2015 - CNECT H2/JK/kk del Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology), che ha considerato, come recita testualmente la lettera, "*the performance of the progress of the project as excellent*". In particolare la GUI progettata con l'utilizzo delle maschere emaptiche è stata definita dagli esaminatori della Commissione Europea come una "*major innovation*" mentre, riguardo alla cover Squeeze Me, si sono espressi asserendo che il suo redesign "*has resulted in a very usable device with excellent potential for exploitation*".

Figura 15

Dettaglio della finitura della stampa 3D realizzata con tecnologia DLP. Si possono notare gli incavi che rendono la struttura più leggera e le sedi cilindriche per i motori di vibrazione.



Paper 1

Stienstra, J., Marti, P., Tittarelli, M. (2013) Dreamy Eyes: Exploring Dynamic Expression in Human-System Interaction. In *Proceedings of CHI 2013*, Paris, 27 April – 2 May 2013.

Il paper descrive lo sviluppo e il design di una GUI progettata per attuare una relazione empatica, mediante l'utilizzo di un tablet, tra lo user ed il robot Care-O-bot®. In particolare i primi due autori, Jelle Stienstra e Patrizia Marti, descrivono il background teorico e l'approccio all'Emotional-Perspective design: un design basato sui concetti di *mapping* diretto, di interazione continua e di azioni dinamiche (*context-dependent*) per rendere il robot "capace" di esprimere comportamenti sociali e condividere i suoi "stati emotivi".

Il terzo si è occupato del design delle "espressioni" delle maschere e dello sviluppo grafico dell'interfaccia e, coadiuvato dagli altri due, ha sviluppato le modalità di interazione ed il funzionamento dell'interfaccia grafica.

Video 1

Il video http://www.roboticsandlearning.org/?post_type=portfolio&p=127&lang=it (realizzato dai partner del progetto) mostra alcuni *use-case* relativi al progetto Accompany. Nel video si può osservare il funzionamento delle azioni *context-dependent*, le espressioni che il robot può assumere (attraverso la maschera dinamica) e le modalità di interazione dello user con la cover Squeeze Me.



Work-in-Progress: Interaction and Experience Design

Jelle Stienstra

Communication Science Department
University of Siena
j.t.stienstra@tue.nl

Patrizia Marti

Communication Science Department
University of Siena
marti@unisi.it

Michele Tittarelli

Communication Science Department
University of Siena
michele.tittarelli@unisi.it

Copyright is held by the author/owner(s).

CHI 2013 Extended Abstracts, April 27 – May 2, 2013, Paris, France.
ACM 978-1-4503-1952-2/13/04.

Dreamy Eyes: Exploring Dynamic Expression in Human-System Interaction

Abstract

This paper describes the Emotional-Perspective design, a graphical-user-interface platform built to explore expression mappings. The platform utilizes emotional and social skills by shifting from representational and discrete to expression rich, contextualized and continuous-sustained interaction paradigms. A remote robot-view, used to control an assistive robot, allows people to take on the perspective of the robot and thereby explore its action-possibilities in context. This view is extended with a dynamic graphical layer (filters and shape-changing mask). This layer is expressively mapped to the robot's 'feelings' constituted by its internal conditions and direct interaction with its surrounding (environment and person). The Emotional-Perspective design will be evaluated to address the expressive mapping and the emergence of meaning in interaction.

Author Keywords

Interaction design; mapping; expressivity; phenomenology-inspired design

ACM Classification Keywords

H.5.m. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): User Interfaces – *theory and methods, input devices and strategies, interaction styles.*

Work-in-Progress: Interaction and Experience Design

General Terms

Design

Introduction

Attempts to create a robot capable of showing social behavior and interacting with human beings by expressing internal states have been very popular in the recent history of robotics. Research in this sector has rapidly expanded to the design of social robots inspired by the way human relationships and communication are carried out. We explore the hypothesis that when robot's behavior conforms to human social expectations; interactions are more likely to be found enjoyable, intriguing and meaningful by people.

Different approaches have been tried out to provide robots with emotional, physical-perceptive and behavioral expressions. Artificial emotions in robots are used to increase the 'credibility' of interaction [2], to provide the user with feedback on the robot's internal state and intentions, to act as a control mechanism when activating a specific type of behavior, or to understand how certain environmental factors influence the robot's behavior.

The work in this paper is carried out in the context of the Accompany project, a European project funded under FP7-ICT-2011-7. The ACCOMPANY system provides support to elderly people in independent living and consists of a robot companion (called Care-O-Bot) in an intelligent environment that informs the robot in its mainly fetch and carry functionalities to come forth to physical and social decay. Our work focuses on the interaction between robot and person to be meaningful, empathic and engaging.

Our approach to designing intelligent products and systems is inspired by phenomenology in order to respect the uniqueness of our life-world's perceptions, centralizing the experience and its incorporation of context. Phenomenology and in particular Merleau-Ponty's phenomenology of perception [4] brings forth that *meaning emerges in interaction*, meaning constituted in a reciprocal interplay between person and environment; interplay of action between one's body and in our case products and systems. We design for interaction, requiring to paying attention to both the *capabilities of the system* and the *human capabilities*. Thereby implying that products and systems should allow for continuous interaction.

From our philosophical stance we target to address *human capabilities (perceptual-motor, emotional, cognitive and social skills)* in a balanced and respectful manner [5]. Though, the research presented in this paper focuses preliminary on our *emotional and social skills*; skills dominantly concerned with our *feelings* and abilities to *synergize*.

Wensveen [9] explored how skills can influence each other and in particular how *emotional skills* could be addressed via our *perceptual-motor*. His Interaction Frogger framework allows analyses of interaction and synthesizes [7] of interactions to be of experienced as 'natural', exploiting a *direct mapping* which closely maps input to output continuously on expressive character.

The 'Squeeze Me' and 'Call Me' design cases [8] explore the capitalization of skills on a functional level as part of the Accompany project. In these two design cases, the phenomenological notion of intersubjectivity

Work-in-Progress: Interaction and Experience Design

pushing the phenomenological stance beyond an individual experience of the world was explored between person and robot mainly on *expressive perceptual-motor, emotional and social skill* levels. By either squeezing or calling, the person gets attention from the Care-O-Bot. The expressivity of this input results in an expressive coherent output: the dynamics of movement of the robot towards the person. The Interaction Frogger Framework was used to design for interaction as off the physical nature of interaction. Here a, earlier mentioned, *direct mapping* between input and output of continuous and expressive character was explored and applied.

The work presented in this paper approaches an engaging relation between people and robot via a shared perspective or embodiment of context through capitalizing expressive qualities thus preliminary addressing *emotional and social skills*. We aim for an engagement in interaction through participation and seek for mapping principles extending the *direct mapping* paradigm by exploring *expression mapping* paradigms that bypass a strictly palpable interaction and focus more on the dynamic and active reciprocal participation *in context*.

Design Case

The main purpose of the graphical-user-interface, in which we explore expression mapping, is for the person to access functions to be performed by the Care-O-Bot when they do not share the same location. A tablet is used to control the Care-O-Bot and further allows the person to see what the robot is looking at and thereby give insights in what the robot can do. The interface displays action-possibility-labels that in short show what the Care-O-Bot can do in the current given

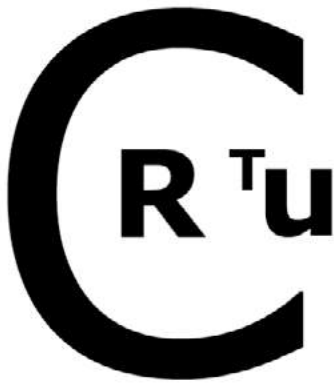


Figure 1: Robot (R) 's feelings are influenced by its own (R) conditions, the environment (C) and the person (u) with the tablet controller (t)

context from the perspective of the robot itself. This means that when the robot looks at for example a dirty coffee cup; that through the view of the robot the coffee cup is augmented with the action-possibilities 'clean the cup' or in case it has just been used with 'refill the cup'. These action-possibilities are highly context-dependant, directed by what the robot can actually do functionally as well by the desires of the person provided by a self-learning grid of behavioral analysis. In this paper we will not go further into depth on this matter, though it does notify a more functional account of seeing through the eyes of the Care-O-Bot with the robot-view.

Emotional-Perspective

On top of what the robot can *do*, we design a graphical-user-interface layer, the Emotional-Perspective, which shows how the Care-O-Bot is *feeling*. We enrich the robot-view by a layer representing the feelings of the Care-O-Bot. This is not achieved through merely presenting numbers or icons representing the states or conditions the robot is in. We explore the mapping of the 'feelings' of the robot to the timbre of the view (i.e., the expressive qualities of the looking-through-eyes) in order to share the states and conditions with the person on an *emotional* not *cognitive* level.

Our objective here is not to validate effectiveness or usability of the proposed interaction mappings that address emotional skills per se. Our platform aims to *iteratively explore* expression-mapping designs and the reciprocal emergence of meaning in interaction concerning *feelings* in a shared context.

We design two constructs for expressive intentionality representation, the first one concerns internal *feelings*

Work-in-Progress: Interaction and Experience Design



Figure 2: The shape-changing mask allows for expressiveness by the shape transformation of the borders.

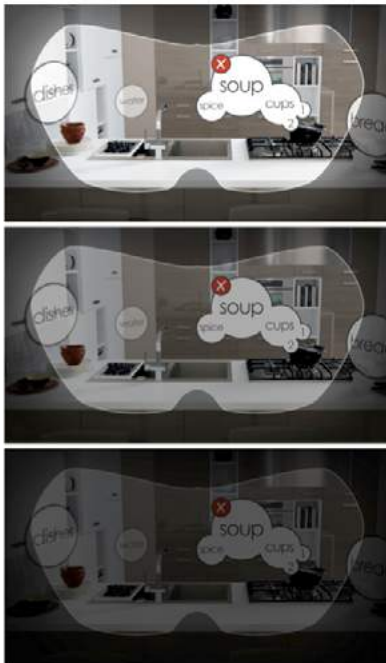


Figure 3: Battery level mapped to opacity layer in the robot-view. Showing from full to less charged.

of the Care-O-Bot while the second one concerns the reciprocal interplay with the direct surrounding (i.e., environment as well as person's input) directing feelings. Even though the two are conceptually interrelated, for clarity sake we split the two types of parameters that constitute the dynamic behavior of the expressive Emotional-Perspective.

Parameters taken as the internal *feeling* of the Care-O-Bot are for example how full the battery is charged or the heat of the internal processor. These values are commonly communicated via numbers or iconic representations. Parameters taken as *feelings* of the Care-O-Bot that are constituted through a reciprocal interplay with the environment or person are for example the temperature and light intensity in the space as the robot's perceptions might be hindered (either by how the Care-O-Bot perceives directly by its own sensors or provided by external environmental sensors). *Feelings* directly induced by the person in interaction are for example the expressive way the interface is handled (subtle, polite, or aggressive), the ratio in which the person ignores the Care-O-Bot throughout the day or the amount of energy a task approached via the interface demands (once the task is being executed these will most likely be covered by the earlier mentioned internal *feelings*).

Whereas the surrounding or internal feelings are mainly driven by the robot's perceptive qualities and action-possibilities, the person driven *feelings* are designed intended to explore how the person and Care-O-Bot can resonate on a social level. This is inspired by simulation theory [3] that proposes that through simulating the other's emotion in ourselves we can intuitively understand what that experience might be like.

As mentioned before the person can look through the eyes of the Care-O-Bot as the interface shows the contextual action-possibilities on top of a life view from the camera on the robot. The *feelings* are not represented by values or icons *on top* of the view but via two dynamic layers *within* the robot-view; graphical filters and continuous shape-changing eyesight (mask). The graphical filters are for example continuous-scaled blur, saturation, opacity and gamma. The mask is the view's shape and size; it is like a goggle view with an adjustable shape. Several dynamic lines, being the border of visible to non-visible, as shown in figure 2, define the shape-changing eyesight. They are separate eyelid-parts that together can constitute several expressive tensions such as angry, explorative, or surprised-ness. Our platform allows exploring dynamic expressions shown in the robot-view in relation to Ekman's basic expressions [1] and nuances found in the human face.

In our design the feelings of the Care-O-Bot control separate elements in the graphical-user-interface, slightly contradicting our holistic stance rooted in the phenomenology of perception. Though these separate elements are highly intertwined in the holistic representation. In other words, in case one parameter controls the upper eyelid, another the lower, another the gamma and yet another the blur filter; together they provide a holistic expression of feelings.

Mapping designs

We here give three mapping designs exemplary for the opportunities the Emotional-Perspective platform opens-up. They should not be read as final, but are initial mapping designs informed by designer-sense and will most likely call for iterations. Nonetheless they here

Work-in-Progress: Interaction and Experience Design

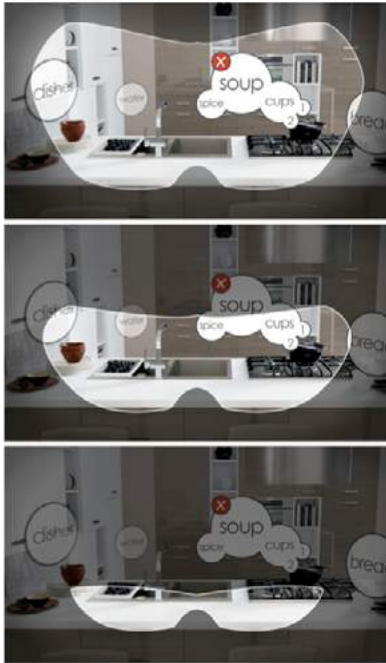


Figure 4: Level of annoying sound in environment mapped to 'closeness' of robot-view.

The Emotional-Perspective platform allows exploring expression mappings between the Robot's contextualized 'feelings' and visual expressions

illustrate the expressive intentionality representations concerning the internal feelings of the Care-O-Bot and feelings deduced from reciprocal interplay with the direct surrounding.

SLEEPINESS

The fullness of the battery of the Care-O-Bot is mapped to the opacity of a black layer within the view of what the person can see through the eyes of the robot (fig. 3). Metaphorically, the lights go out. When the robot is full of power, in other words energetic, the person can see through the eyes of the robot clearly. In case the robot (not the tablet with graphical-user-interface per se) is out of energy, it is not possible for the person to see through the eyes of the robot nor is able to access functionalities. The mapping is of exponential nature to prevent a constant diminishing opacity.

ANNOYED BY SOUND

The surrounding noise impacts the robot-view through a mapping with the adjustable shape. Normal surrounding noise does not interfere with the shape of the eyes, but when the sound-scape becomes annoying the shape of eyes will retract as if the eyes get smaller. Metaphorically, the Care-O-Bot closes its senses to the overload of information (fig. 4).

GIVE ME ATTENTION

The Care-O-Bot is able to see the position and direction of the person in relation to its own. The Emotional-Perspective's has the ignoring scale mapped to the contrast filter; no directed attention has a decreased contrast while more active engagement enables the person to see through the eyes of the Care-O-Bot with more contrast.

Work in Progress

A setup comparing the elaborated dynamic interaction design and a static variant of the Emotional-Perspective will be used for evaluation as part of our iterative design process. We will use the Interpretative Phenomenological Analysis [6], a methodology that help to elicit personal meaning in context through in-depth interviews on key concepts like the meaning of experience and first-person perspective, the role of context in shaping the experience and reflective practice on lived accounts.

Evaluation sessions will be conducted using interaction scenarios where the robot is controlled through the robot-view. The scenario will be acted out in two conditions: a plain version with no expressivity of the mask and the dynamic expressive Emotional-Perspective. In this way we aim to assess whether the expressive qualities in the Emotional-Perspective subject to dynamic changes in a reciprocal interaction with person and environment *engage* the person in interaction with the Care-O-Bot.

The design of the Emotional-Perspective is setup as a platform for exploration. This allows us to modularly tweak and adapt the interaction mapping focused on its expressive qualities between certain 'feelings' and the graphical layers in the graphical-user-interface. We will *iteratively explore* our stacked expression mapping designs in order to gain insight in the expressive structures that can be hidden in the functional values (such as the processor heat of the Care-O-Bot) and further explore *how* our intended meaning emerges in interaction, if at all.

Work-in-Progress: Interaction and Experience Design

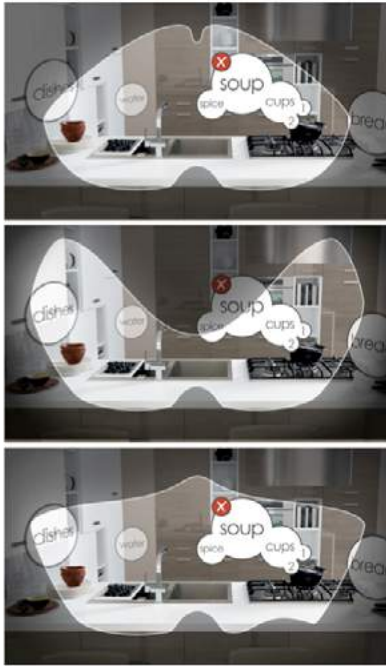


Figure 5: Expression exploration of the shape-changing mask showing 'sadness', 'anger' and 'fear'.

We are aware that holistically provided visual expressions of the Emotional-Perspective are derived from iconic representations and therefore bypass the subjectiveness of the person. Mappings are arbitrary though inspired by cultural and bodily phenomena. The *expression mappings* here, contrary to applying the direct palpable interaction paradigms such as Interaction Frogger informed by kinesthetic or Gibsonian affordance, are more depending on previous experience. As *meaning emerges in interaction* capitalizing pre-informed emotional values, interpretation might not be as intended though rich. Evaluation shall focus on the qualitative subjective experience aspects in interaction, not those of efficiency as we aim to engage the person with the robot in interaction.

The earlier mentioned evaluations concern the reciprocal 'feeling' relation between person and robot through the graphical-user-interface, focusing on the emergence of meaning in relation to the designed

References

- [1] Ekman, P. Basic Emotions, in Dalglish, T. and Power, M. *Handbook of Cognition and Emotion*, Sussex, UK: John Wiley & Sons (1999).
- [2] Fong T., Nourbakhsh I. and Dautenhahn K. A survey of socially interactive robots *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 42 (2003), 143–166
- [3] Gordon, R.M. Folk psychology as simulation. *Mind and Language*, Vol. 1, No. 2 (1986), 158–171.
- [4] Merleau-Ponty, M. *Phenomenology of Perception* (C. Smith, Trans.). New York: Humanities Press (1962, Original work published in 1945).
- [5] Overbeeke, C.J. *The Aesthetics of the Impossible*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology (2007).

expression mapping paradigms. We further explore, from a holistic point of view, the meanings that emerge through the convergence of the *'feeling's* and the more functional context dependant action-possibilities. In other words, how will for example the running down of the battery embodied through a coherent gradient filter influence the usage of functionalities and provide novel scenarios.

With our work we hope to inspire user-interface designers to utilize *emotional* and *social skills* by shifting from purely functional, hierarchical, and representational to expressive rich, contextualized and continuous-sustained paradigms for interaction.

Acknowledgements

The research leading to these results has received funding from the [European Union's] Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n°[287624].

[6] Smith, J.A., Flowers, P., & Larkin, M. Interpretative Phenomenological Analysis: Theory Method and Research. London: Sage. (2009).

[7] Stienstra, J.T., Bruns Alonso, M., Wensveen, S.A.G. and Kuenen, C.D. How to Design for Transformation of Behavior through Interactive Materiality. In *Proc. Of NordiCHI2012*, New York: ACM Press (2012), 21-30

[8] Stienstra, J.T. and Marti, P. Squeeze Me: Gently Please. In *Proc. NordiCHI2012*, New York: ACM (2012), 746-750

[9] Wensveen, S.A.G., Djajadiningrat, J.P. and Overbeeke, C.J. Interaction Frogger: a design framework to couple action and function through feedback and feedforward. In *Proc. of DIS 04*, New York: ACM (2004), 177-184

Paper 2

Marti, P., Iacono, I., Tittarelli, M. and Jelle Stienstra (2013). Shaping empathy through perspective taking. In *Proceedings of the 22nd IEEE Ro-Man International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Gyeongju, Korea, 26-29 August 2013.

Il paper descrive lo studio esplorativo che è stato condotto per valutare le qualità dell'uso di maschere espressive di tipo "dinamico" rispetto all'uso di quelle di tipo "statico" per definire un'interfaccia grafica con cui lo user fosse in grado di percepire gli "stati d'animo" del Care-O-bot®. L'ipotesi iniziale prevedeva che, ad un comportamento del robot quanto più conforme alle aspettative sociali umane, potesse corrispondere una interazione più gradevole e coinvolgente.

Nel paper ci siamo occupati della definizione e della realizzazione delle maschere espressive dinamiche che, attraverso un processo di *morphing*, consentono di rappresentare i cambiamenti degli stati emotivi del robot. Abbiamo inoltre realizzato i video-scenari e coadiuvato la raccolta dei dati della sperimentazione condotta la cui analisi è stata curata da Patrizia Marti e Iolanda Iacono.

Video 2

Il video (http://www.roboticsandlearning.org/?post_type=portfolio&p=448&lang=it) mostra la maschera dinamica realizzata (in modalità *robot-view*) e alcune delle espressioni che il robot può "assumere dinamicamente" in relazione al contesto ambientale e d'uso.



Shaping empathy through perspective taking

Patrizia Marti, Iolanda Iacono, Michele Tittarelli and Jelle Stienstra

Abstract— This paper describes an explorative study to evaluate a dynamic expressive mask associated to a remote robot-view used to control an assistive robot. The mask is generated by a graphical-user-interface platform displayed on a tablet used to control the robot in a smart home environment. The hypothesis of the study is that when robot's behaviour conforms to human social expectations, interactions are more likely to be found enjoyable and meaningful by people. Furthermore the expressivity of the mask is expected to result in empathic interactions with the robot and therefore to sustain rich and meaningful social exchanges. In this study we compared four scenarios of interaction between a robot and a person at home. The scenarios depicted scenes where the robot was asked to execute tasks. Each scenario was showed in two versions: with a static robot-view and with a dynamic, expressive robot-view. The results of a questionnaire administered to 60 persons showed a preference of people to interact with the dynamic expressive mask. Expressivity was a means to stimulate empathic concern and to facilitate perspective taking during the execution of the scenarios.

I. INTRODUCTION

In this paper we describe our design approach to develop a graphical-user-interface platform to control an assistive robot, namely Care-o-Bot, in a smart home environment.

Care-o-Bot is a mobile robot with a machine-like appearance able to assist older persons at home. The robot is equipped with an arm manipulator, a three-finger gripper and a tray that can be used to carry objects. The body contains range and image sensors enabling object learning and detection and 3-dimensional supervision of the environment in real time. The robot can detect, fetch, carry and manipulate objects.

Care-o-Bot is part of a larger system including an intelligent home environment enhanced with a multi-angle camera fusion system and sensor network. This equipment provides information about the living patterns of the older

person, current states of objects present in the environment and the environment itself.

The smart environment including the robot has been developed in the context of ACCOMPANY (Acceptable robotiCs COMPanions for AgeiNg Years), an European project funded under FP7-ICT-2011-7 (<http://accompanyproject.eu>). The project aims to facilitate independent living of older persons at home. A major challenge of the research is to explore rich and natural ways for interaction, focusing on empathy as a means to enable meaningful and engaging relations between human and machine.

Empathy is a fundamental feature of human being that enables us to reach out and connect with others, to know what another person is thinking or feeling and to actually feel another's emotional state [1]. Recently the research on empathy has experienced a renewed attention and the advancements in particular in the field of social psychology and neuroscience research have inspired other fields of research including technology design. For example, different projects have been developed to establish empathic interactions with synthetic characters to enhance cooperation, specifically on educational, training and counseling/helping perspectives [2, 3, 4]. Rodriguez et al [5] proposed a model of empathy for virtual characters that aims to enable emergent empathic interactions between them, in a way that is perceived by users as well. Other researchers [6] explored in empathy in socially assistive robotics building on the findings of different psychologists who showed that empathy plays a key role for therapeutic improvement (e.g., [7]) and their assumption that empathy mediates pro-social behaviour [8].

In particular in the field of assistive robotics, the majority of robots strive to advance the state of the art in technological fields such as planning, object handling, autonomous movement, language processing etc.. In the ACCOMPANY project we aim to develop a robot with social skills to enrich the interaction and prolong it beyond the initial encounter.

This challenge is explored through the design of innovative concepts of empathic interaction embodying the perspective of the robot companion using dynamic and context-dependent graphical interface. With our work we hope to inspire user-interface designers to utilize *emotional* and *social skills* by shifting from purely functional, and hierarchical, to expressive rich, contextualized and continuous-sustained paradigms for interaction.

Patrizia Marti is with the Department of Social Political Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena and Eindhoven Technical University (corresponding author to provide e-mail: patrizia.marti@unisi.it).

Iolanda Iacono is with the Department of Social Political Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena (e-mail: iolanda.iacono@unisi.it).

Michele Tittarelli is with the Department of Social Political Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena (e-mail: michele.tittarelli@unisi.it).

Jelle Stienstra is with the Department of Social Political Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena and Eindhoven Technical University (e-mail: j.t.stienstra@tue.nl).

II. DESIGN

A context dependent and personalized graphical-user-interface capitalized within perspective taking is one of the concepts of social behaviour that we have been developing in the project. Through a tablet interface (“Fig.1”), the person can see action-possibilities that can be performed by or with the robot at the moment of interaction [8]. The action-possibilities are organized by relevance. In time, the older person’s usage of action-possibilities will influence their relevance with respect to a specific context of use.

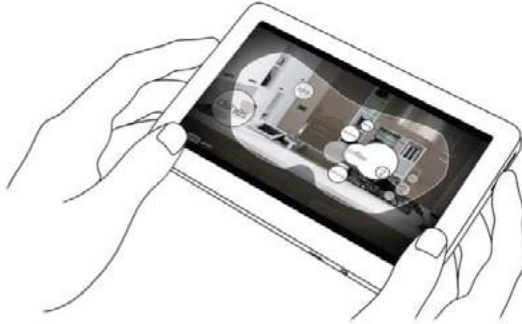


Figure 1. Seeing through the robot’s eyes: context depending action possibilities, varying in size depending on their likelihoods.

While selecting a desired action-possibility through clicking the Care-O-Bot will start performing. The elderly persons can see how the task is performed from the Care-O-Bot’s eyes. On completion of the task, the displayed action-possibilities are updated as the context has changed through the task executed by the robot (e.g. after closing the door, ‘closing the door’ is most likely not actionable anymore and has been substituted by another action-possibility namely ‘open the door’).

The robot-view displays what the Care-O-Bot is looking at. This view is covered with a mask indicating a clear vision in the centre and cloudy one outside the centre. As if looking through the robot’s eyes. Whilst the action-possibilities show what the robot can do in context, the mask shows how the robot feels in order to share its internal states with the person on an emotional level. To this aim we developed an emotional-perspective platform to display expressions through a dynamic mask [9].

We design two constructs for expressive representation, the first one concerns internal feelings of the Care-O-Bot, while the second one concerns the reciprocal interplay with the direct surrounding (i.e. environment as well as person’s input) directing feelings. Examples of parameters taken as internal feelings of the Care-O-Bot are the battery level or the heat of the internal processor. Examples of parameters taken as feelings of the Care-O-Bot that are constituted through a reciprocal interplay with the environment or person are the temperature and light intensity in the space. An example of feelings directly induced by the person in interaction are for the ratio in which the person ignores the Care-O-Bot throughout the day. Details about how parameters are used to generate expressions are described in [10]. Mapping these parameters to the robot’s expressions

generate changes in the robot-view on the tablet. A typical scenario may be when the sound-scape around the robot becomes annoying (e.g. when an object falls down or a door slams). In this scenario the mask will retract as if the eyes get smaller. Metaphorically, the Care-O-Bot closes its senses to the overload of information.

The robot’s feelings are expressed via two dynamic layers within the robot-view: 1) using graphical filters; and 2) through a continuous shape-changing eyesight (mask). The graphical filters are for example continuous-scaled blur, saturation, opacity and gamma. The shape-changing eyesight expressions shows expressions in relation to Ekman’s basic expressions [11] and nuances found in the human face.

III. EVALUATION

In order to evaluate the two modalities of expressing feelings through the robot-view interface, we designed the following scenarios.

Scenario 1 “The vase falls down”

The window is open and a sudden wind makes a vase falling down. The mask displayed on the robot-view interface shows that the robot is scared about this noise. The robot moves toward the source of noise and looks at the plant laying on the floor. The mask changes again showing sadness. The scenario contains two expressions, fear and sadness depicted in frame 6 and 8 in “Fig. 2”.



Figure 2. The “Vase falls down” scenario

Scenario 2 “The rotten apple”

Ann would like to have a snack. She asks the robot to bring her an apple entering the command through the interface. The robot moves to the kitchen and looks at a basket containing apples. It focuses on a rotten apple. Ann can see from the interface on the tablet that the mask changes to express disgust. The scenario contains only one expression, the disgust, depicted in frame 7 in “Fig. 3”.



Figure 3. "The rotten apple" scenario.

Scenario 3 "Someone at the door"

Ann is waiting for her friend Marta, who is supposed to arrive in a few minutes. The doorbell rings three times. The robot expresses surprise. Ann knows that Marta is used to ring three times to advise about her arrival. Ann selects the action "Open the door" from the robot-view interface. The robot moves toward the door. The mask changes from surprise (frame 7, "Fig. 4") to basic (frame 1, 2, 3, 4, "Fig. 4").

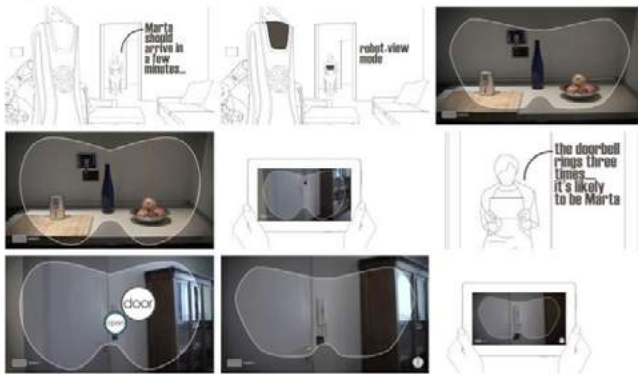


Figure 4. "Someone at the door" scenario.

Scenario 4 "Sleepiness"

Ann asks the robot to turn off the lamp by selecting the action "switch off the light". The robot seems to be unable to perform the requested action because is running out of battery level. The robot-view gets darker to show the robot's sleepiness.

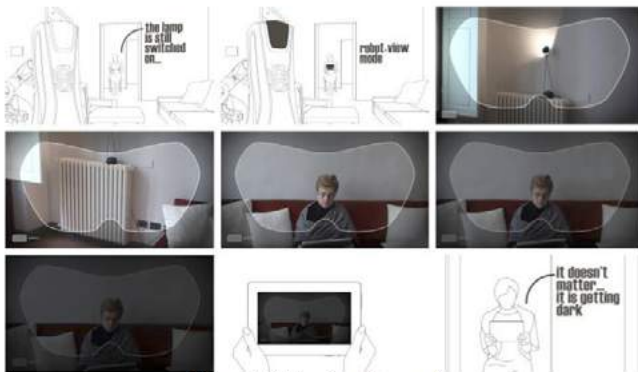


Figure 5. "Sleepiness" scenario

In this scenario the robot's feeling is expressed using a graphical filter rather than the changing mask.

IV. PROCEDURE

The previously described scenarios were presented in form of videos in two different conditions: with empathic expressions (changing mask in scenarios 1, 2 and 3; and graphic filters in scenario 4), and without empathic expression (using a static mask).

Sixty people (M=33, F=27) were involved in the study (Table 1).

TABLE I

Gender	18-35 years old	36-55 years old	56-70 years old	After 70 years old
Male	19	8	4	2
Female	17	8	1	1

Subjects divided by age and gender

They were asked to watch the scenarios in both conditions: without empathic expression (condition A), with empathic expression (condition B). The scenarios in both versions were randomly administered. Before watching the videos the subjects were asked to fill in the Interpersonal Reactivity Index (IRI) developed by Davis (1983) [12]. IRI is used to evaluate empathy as a multidimensional construct constituted by affective/emotional and cognitive aspects. The original version of IRI is composed of 28-items answered on a 5-point Likert scale ranging from "Does not describe me well" to "Describes me very well" divided into 4 subscale. For the purposes of our study, we used two IRI subscales related to perspective taking and emotional concern. Davis describes *perspective taking* as the tendency to spontaneously adopt the psychological point of view of others, while the *empathic concern* is defined as the assessment of "other-oriented" feelings of sympathy and concern for unfortunate others. Each subscale is composed of 7-item. Since the subjects who participated to the survey were Italian, we used the Italian version of IRI (Indice di reattività interpersonale) validated by Albiero et al. (2006) [13].

The subjects were asked to watch the video-scenarios. After observing the assigned video each participant answered the questions included in the Scenario Evaluation questionnaire. This questionnaire contained 5-items on a 5-point Likert from "never" to "always" It was administrated to each subject twice, after the scenario in condition A and after the same scenario in condition B randomly assigned. A second questionnaire, the Comparison questionnaire, was administrated once the scenario was watched in both conditions, to compare the videos presented in condition A and B. This questionnaire was composed of 5 items and contained close-ended and open-ended questions. The procedure was repeated for all the scenarios. The process is sketched in "Fig. 6". All questionnaires were anonymous.

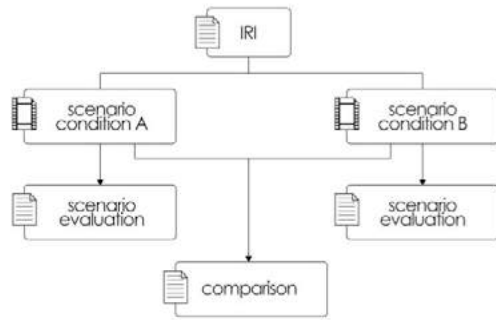


Figure 6. Evaluation procedure

V. RESULTS

The scenarios 1 and 4 were evaluated by 59 subjects, scenario 2 by 56 subjects, and scenario 3 by 42 subjects. The results obtained from the IRI questionnaire are showed in Table II below.

TABLE II.

IRI's subscale	Male (33 subjects)		Female (27 subjects)	
	Mean	Ds	Mean	ds
EC	25,81	3,62	26,67	3,46
PT	24,30	2,69	28,81	3,84

Results of the IRI questionnaire

The results of the IRI questionnaire show the mean value and the standard deviation with respect to the Empathic Concern (EC) and the Perspective Taking (PT) of the interviewed subjects.

All subjects understood the scenes depicted in the videos as shown in "Fig 7". The "Fig. 7" reports the mean value of answers to the question "Did you find it difficult to understand the situation showed in the video?", included in the Scenario Evaluation questionnaire.

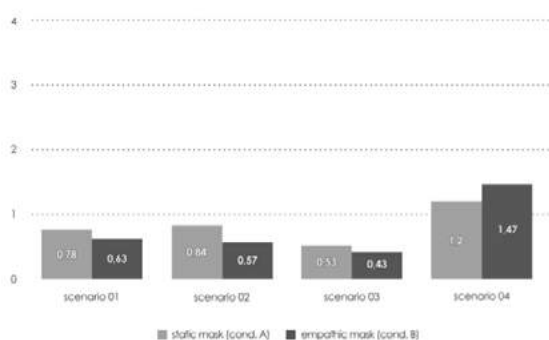


Figure 7. Mean value of answers to the question: "Did you find it difficult to understand the situation showed in the video?".

The main difficulties were related to scenario 4 "Sleepiness". This result is discussed later.

"Fig. 8" shows the total answers to the question "Which version of the scenario did you like most?" included into the Comparison questionnaire.

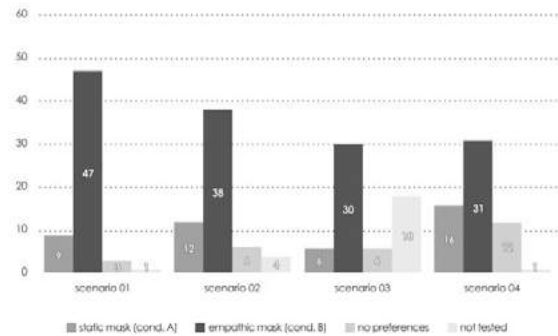


Figure 8. Preferred scenarios in condition A (static mask) and B (empathic mask).

The interviewed subjects preferred the condition B (empathic mask) for all scenarios. People commented that the scenarios in condition B were more engaging compared to the ones in condition A. Scenario 1: "The vase falls down" was the most appreciated. This scenario is more dynamic with respect to the other ones since the mask changes twice from the basic expression to fear and sadness. In the other three scenarios, beside the basic expression, only one more expression is displayed. Our interpretation is that when the mask shows only one expression in addition to the basic one, the changes in the shape are more difficult to notice. This happens in particular in Scenario 3 - "Someone at the door" where the basic expression ("Fig. 4", frame 3) is very similar to surprise ("Fig. 4", frame 4). The subjects did not clearly notice the changes in shape of the mask

Scenario 4 "Sleepiness" was the least appreciated. In this scenario we adopted a different design strategy. Instead of using a dynamic mask inspired by Ekman's basic expressions, we used graphical filters to convey empathy. In particular in Scenario 4 "Sleepiness" we changed the opacity modifying the transparency level of the scene. This solution created a "darkness effect" that the subjects did not easily attributed to the robot's sleepiness. They were more oriented to attribute the effect to the light conditions of the environment. This results requires to experiment more with graphical filters, trying out those effects that might be more clear and appropriate.

"Fig. 9" shows the mean value of answers to the question "The scene is showed through the robot's eyes. Did taking the robot's perspective help you to understand its

intentions?” included in the Scenario Evaluation questionnaire.

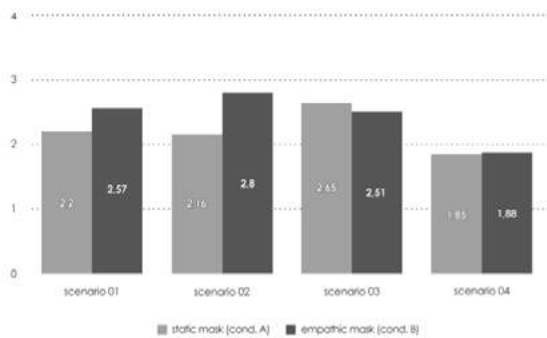


Figure 9. Mean value of answers to the question: “The scene is showed through the robot’s eyes. Did taking the robot’s perspective help you to understand its intentions?”

In this case the difference between condition A and B is not meaningful. Subjects answered positively in Scenario 1 and 2 and the opposite in Scenario 3 (variance = .14). For Scenario 4 the variance between condition A and B is very low, variance = .03, and therefore not meaningful.

“Fig. 10” shows the mean value of answers to the question “Did taking the robot’s perspective help you to share its mood?” included in the Scenario Evaluation questionnaire.

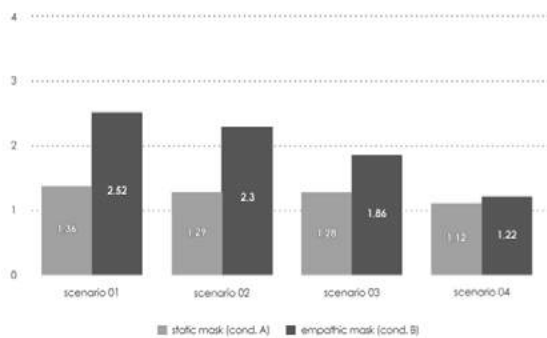


Figure 10. Mean value of answers to the question: “The scene is showed through the robot’s eyes. Did taking the robot’s perspective help you to share its mood?”

“Fig. 11” shows the mean value of answers to the question “During the scene did you feel emotionally involved with the robot?” included in the Scenario Evaluation questionnaire.

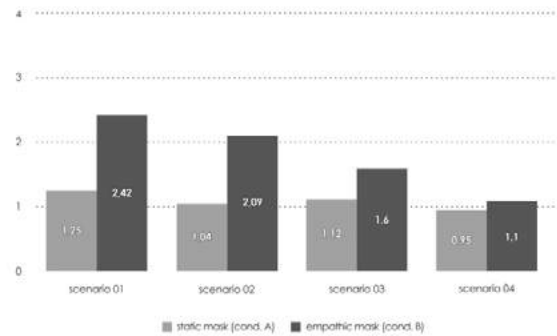


Figure 11. Mean value of answers to the question: “During the scene did you feel emotionally involved with the robot?”

“Fig. 12” shows the mean value of answers to the question “Was the robot able to clearly express its emotional states?” included in the Scenario Evaluation questionnaire.

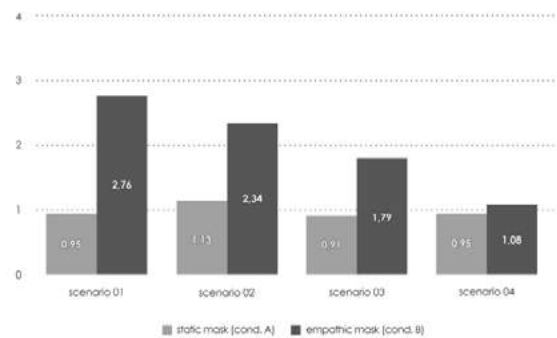


Figure 12. Mean value of answers to the question: “Was the robot able to clearly express its emotional states?”

The results showed in “Fig. 10”, “Fig. 11” and “Fig. 12” show that the subjects the emotional concern and perspective taking is more effective in condition B rather than in condition A. More in detail, the variance between condition A and B is meaningful in Scenario 1, 2 and 3 while it is very low and therefore not meaningful in Scenario 4.

VI. DISCUSSION AND CONCLUSIVE REMARKS

The outcomes of the study described in this paper show that the use of the empathic mask had a positive impact on the subject’s ability of empathic concern and perspective taking. More in general, the empathic mask facilitated the comprehension of the different scenarios. People preferred Condition B that resulted more clear and engaging than Condition A.

Their ability to feel emotionally involved with the robot was expressed in the qualitative comments reported in the open-ended section of the questionnaires as well as their preferences for the Condition B.

For example, a lady (18-35 years old) wrote that in Scenario 3 “*Someone at the door*” the robot behaved as a human being who was interrupted while doing something. The robot’s eyes opened wide to show surprise toward the doorbell ringing. This was an effective way to represent the robot’s feeling toward an unexpected event.

A man (36-55 years old) reported that in Scenario 2 “*The rotten apple*” the robot simulated an expression of regret toward the rotten apple that was very similar to the observer’s state of mind. It was very simple for him to share the robot’s concern since this was very close to his own concern.

A man (18-35 years old) wrote that the empathic mask gave the impression that the robot was able to reflect on the situation at hand and react in a socially appropriate way.

Interestingly various subjects reported a “learning effect” when watching the scenarios. Apparently it was easier to recognise the robot’s empathic expressions after a while, usually in the last watched scenarios. The robot’s behaviour became more familiar and the empathic expressions more meaningful and engaging. This remark is encouraging since it shows a certain availability of the subjects to interact with the robot and learn from its behaviour.

Regarding the proposed design strategies for the empathic mask, that is the use of graphical filters vs the shape-changing eyesight expressions similar to the human face, the results of the test seem to show a preference toward the shape-changing expressions. In fact Scenario 1, 2 and 3 were more clearly understood than Scenario 4. People seemed to associate more easily the empathic behaviour to the robot’s expression when they were represented with the shape-changing mask. Empathy conveyed through the use of graphic filters was less clear and easy to understand. We will investigate this aspect more deeply and will test different design solutions to assess which one works better in our scenarios of use.

As said above, we involved 60 subjects in our study. However, the majority of the sample was constituted by people between 18 and 35 years of age. Only 3 subjects were more than 70 years old, whilst only 5 subject were between 56 and 70 years of age. Even if the number of over 56 subjects was very small, it is important to notice that these subjects, and in particular the over 70, reported a certain difficulty in understanding the scenes as well as the robot’s feelings. In the next iteration of design we have planned a new evaluation cycle of the empathic mask. The evaluation will be carried out using the same protocol described in this paper but we will involve only elderly people. In this way we hope to collect data that can help us to design more expressive solutions for our target population.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research leading to these results has received funding from the EU Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n°287624. We would like

thank Tiziana Conte, Rosa De Piano and Lorenzo Megale for their precious collaboration to the data collection and analysis.

REFERENCES

- [1] L. Rueckert, and N. Naybar, “Gender Differences in Empathy: The Role of the Right Hemisphere,” *Brain and Cognition*, 67(2), pp 162-167, 2008.
- [2] T. W. Bickmore, “Relational Agents: Effecting Change through Human-Computer Relationships,” vol. Ph.D. thesis Cambridge, MA: MIT, , p. 284, 2003.
- [3] W. Bursleson and R. Picard, “Affective agents: sustaining motivation to learn through failure and a state of stuck,” in *Proceedings of workshop of social and emotional intelligence in learning environments, in conjunction with the 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, Maceió, Alagoas, Brazil, 2004.
- [4] H. P. a. M. Ishizuka, “The Empathic Companion: A Character-based Interface that Addresses Users’ Affective States,” in *Applied Artificial Intelligence*, vol. 19, pp. 267-285, 2005.
- [5] S. Rodrigues, S. Mascarenhas, J. Dias, and A. Paiva, “I can feel it too! emergent empathic reactions between synthetic characters,” in *Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009. ACII 2009, 3rd International Conference on*, pages 1 –7. IEEE, 2009.
- [6] A. Tapus, and Maja J. Matarić, “Emulating Empathy in Socially Assistive Robotics,” in *AAAI Spring Symposium on Multidisciplinary Collaboration for Socially Assistive Robotics*, Palo Alto, CA, Mar 2007.
- [7] C. R., Rogers, “Empathy: An unappreciated way of being. *Counseling Psychologist*” vol.5 pp. 2–10, 1975.
- [8] N. Eisenberg, “Altruistic emotion, cognition, and behaviour”. New York: Academic Press., 1986.
- [9] J. Stienstra, P. Marti and M. Tittarelli, “Dreamy Eyes: Exploring Dynamic Expression in Human-System Interaction,” in *ACM SIGCHI Proceedings of CHI 2013*, Paris, 27th April – 2nd May 2013.
- [10] P. Marti and J. Stienstra, “Exploring Empathy in Interaction: Scenarios of Respectful Robotics,” in *Journal of Gerontopsychology and Geriatric Psychiatry*, ISSN-L 1662-9647 (to be published)
- [11] P. Ekman, “Basic Emotions”, in T. Dalgleish, and M. Power, *Handbook of Cognition and Emotion*, Sussex, UK: John Wiley & Sons 1999.
- [12] M. H. Davis, “Measuring individual differences in empathy: Evidence for a multidimensional approach”, in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol.44, pp 113–126, 1983.
- [13] P. Albiero, S. Ingoglia, and A. Lo Coco, “Contributo all’adattamento italiano dell’Interpersonal Reactivity Index” in *Testing Psicometria Metodologia*, vol. 13, no. 2, pp. 107-125, 2006.

Paper 3

Marti, P., Tittarelli, M., Sirizzotti, M., Stienstra, J. (2014). Expression-rich communication through a squeezable device. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, August 12-15, São Paulo, Brazil, 2014.

Il paper descrive il design e l'implementazione dello Squeeze Me, una cover interattiva per tablet realizzata mediante tecniche di produzione additiva (stampa 3D). La cover è un'interfaccia tangibile, con cui lo user può interagire con il Care-O-bot®, dove sia le espressioni della maschera, così come i movimenti stessi del robot, dipendono dal modo in cui essa viene strizzata. Nel paper vengono descritti i processi di ideazione, realizzazione e implementazione della cover ponendo un particolare accento sulle qualità di un'interazione continua concretizzata mediante un *mapping* fra la pressione esercitata dall'utente e la risposta del sistema.

In particolare sono richiamati i processi di design della cover e le modalità di realizzazione delle componenti hardware del sistema.

Video 3

Il video (http://www.roboticsandlearning.org/?post_type=portfolio&p=442&lang=it) presenta la cover Squeeze Me e le modalità di interazione attraverso l'uso del simulatore utilizzato per lo sviluppo del prototipo.



Expression-rich communication through a squeezable device

Patrizia Marti*, Michele Tittarelli, Matteo Sirizzotti, Jelle Strienstra

Abstract— This paper presents Squeeze Me, a squeezable device used to grab attention from the mobile robot Care-O-bot, providing ground for expressive values to be shared between person and robot in a smart environment. Squeeze Me consists of a soft rubbery interactive cover, that can be mounted on a tablet, to enable expression-rich communication. The cover embeds two specifically designed resistive analogue pressure sensors.

The expressions exerted on the device by the person are mapped to movements of the robot as well as to an expressive mask displayed on the graphical user interface (GUI) of the tablet that is used to control the robot. This mask shows the robot's view on the environment as well as its internal states (feelings). A short pinch exercised by the person on the cover results in a sturdy movement of the robot. A hard squeeze results in a quick movement and a gentle touch in a slow approach. All changes in movement are mapped to the modifications in the expressions of the mask, e.g. from neutral to surprise, or joy, depending on the context of interaction.

The paper describes the design and implementation of the Squeeze Me prototype, together with a scenario of use in the context of an older person – robot interaction.

I. INTRODUCTION

Tangible Interaction emerged in the 90s and rapidly evolved into a wide field of research with variegated application domains [1]. The approach emphasizes the design of the interaction beyond visual interface components [2], focusing of materiality, physical embodiment of data, bodily interaction and embeddedness in real spaces and contexts, as distinctive features [3].

In more recent years, through the acknowledgement of tangibility and technological developments such as multi-touch, 'natural interactions' have been pushed forward as seen in actions like pinching-to-zoom and turn-to-rotate. Nonetheless, interface designs have still large room to exploit opportunities of full embodiment of action in the environment.

In this paper we present an attempt to explore the possibilities for bodily interaction and contextual embeddedness through the development of a squeezable

interface device. The device is a cover that can be mounted on a tablet to control different applications running on it.

Our research is inspired by the concept of embodiment as a way of theorizing the relationship between embodied actions, technology design, and our experience. This approach [4] provides a foundation for understanding how we are physically and socially engaged while acting in the world. Embodied interaction refers to the way our perception of physical and social phenomena develops in interplay with the world around us. Dourish defines embodied interaction as "the creation, manipulation and sharing of meaning through engaged interaction with artefacts" [4] (p. 126). Since its original definition, the concept of embodied interaction has inspired a number of design approaches considering "embodiment" as the bridge between the physical and digital. In particular this concept emphasizes the opportunities of action that the physical world offers and that should not be neglected in the design of digital interactive products.

For our approach to embodied interaction, we seek also inspiration in theoretical frameworks rooted in basic principles of phenomenology [5] and ecological psychology [6] considering action and perception as situated in the world and not abstracted from it.

A context dependent, personalized action-possibility and expressive interaction is our concept derived from research on affordance and phenomenology, which put emphasis on subjective experience and context. Affordance refers to an action-possibility that is enabled by our bodies. This leads us to design for interaction, mapping the materiality and functioning to the action ability of people. Phenomenology stresses the unity between human beings and the environment, placing the body at the center of human existence, as a primary means of experiencing the world.

The uniqueness of life-world's perceptions, from a bodily and contextual experience is addressed in our work with the design of an embodied, expressive and context-dependent interactive device [7]. In the specific application we developed, the device, called Squeeze Me, is connected to a GUI, and used to control Care-O-bot by an older person in a smart home environment [8]. This research has been developed in the context of the Accompany project (Acceptable robotiCs COMPanions for AgeiN g Years), that develops a number of functionalities of Care-O-bot to facilitate independent living of older people at home.

Care-O-bot is a state of the art service robot designed for home environments. In Accompany, the robotic system is specifically tailored to eldercare. The robot possesses different functionalities. The navigation system is based on an omnidirectional drives that allows the robot to move safely in populated environments. It has a 3-D environment

*Research supported by the EU Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n° 287624.

Patrizia Marti is with the Department of Social Political and Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena and Eindhoven Technical University (e-mail: patrizia.marti@unisi.it, corresponding author).

Michele Tittarelli is with the Department of Social Political and Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena (e-mail: michele.tittarelli@unisi.it).

Matteo Sirizzotti is with the Department of Social Political and Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena (e-mail: matteo.sirizzotti@gmail.com)

Jelle Stienstra is with the Department of Social Political Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena and Eindhoven Technical University (e-mail: j.t.stienstra@tue.nl).

detection via a variety of sensors that enables the robot to detect, identify and localize objects for manipulation with its 7-DOF-arm and 3 finger gripper. It is equipped with a tray that can be used to carry objects. It can fetch, carry, and manipulate objects. Other functionalities include monitoring of manipulation operations in real-time. Care-O-bot is part of an intelligent home environment providing information about the living patterns of the older person, current states of objects present in the environment (e.g., a dirty cup of coffee) and the environment itself [9].

II. SQUEEZE ME

The Squeeze Me device is an interactive cover, mounted on the tablet “Fig.1”, enabling expression-rich communication between a person and Care-O-bot [7].



Figure 1. Squeeze Me mounted on a tablet

By detecting the pressure on the cover, we directly map the values of the movement of the robot as well as the expressions on the GUI.

More in detail, the pressure exerted on the device by the person is mapped to expressive behaviors of the robot in the modality of motion in forthcoming interaction, as well as mapped to the appropriate expressions of the mask. A short pinch results in a sturdy movement, a hard squeeze results in a quick movement and a gentle touch in a slow approach. Each movement is mapped to the dynamic behavior of the mask. This direct mapping inherently exhibits a natural relationship while maintaining the richness exhibited by the user.

In the context of the Accompany project, Squeeze Me has been implemented to control Care-O-bot through a mobile GUI running on a tablet. In the following we describe the specific features of the GUI as well as a scenario of use.

A. The GUI

Following the theoretical frameworks illustrated above, the Squeeze Me device has been developed to be integrated with a GUI to control the robot.

Our GUI design explores the concept of context- and action-dependent interactions in smart environments. Actions to-be performed by the Care-O-bot are made available in order of their contextual relevance through the action-possibility-dependent and personalizing interface on a tablet.

The user is provided with two main modes of the interface. The first main mode provides action-possibilities to be performed by the Care-O-bot from the user's point of view (the user-view mode) while the second main mode provides them from the robot's point of view itself (robot-view mode).

The user-view mode is a view on which the user can see action-possibilities that are applicable to be performed by or with the Care-O-bot at the moment of interaction. The action-possibilities are organized by relevance; this is achieved through the size and location of the action-labels. The most relevant action possibilities are given centrally and larger than less relevant ones, making it easier accessible. In time, the user's usage of action-possibilities will influence the relevance as we target to provide a context as well as a personalizing graphical user-interface.

The robot-view mode provides similar action-possibilities that are relevant but does so from the point-of-view of the Care-O-bot itself. This means that while the Care-O-bot is not at the same location of the user, it provides a different set of actions to be performed. Their relevance is not ordered by location but merely indicated by the label size. The location of labels depends on the objects of action as this view displays the actual view from the Care-O-bots camera. So if an action-possibility concerns a dirty cup, lets say clean cup, the label will be displayed on top of this cup seen from the Care-O-bots perspective.

The GUI displays approach action-possibilities in the relation the Care-O-bot has towards objects in the environment. In fact, in the Care-O-bot's home environment objects have discrete, continuous and multiple-action-possibilities-per-object. A light-switch can be turned on or off, while a curtain can be opened fully, slightly and anything in between. A cup for coffee concerns multiple action-possibilities such as clean cup, fill cup with ..., bring cup to ..., refill cup etc.

The GUI provides different actions of selecting for each type of action-possibility “Fig. 2”.



Figure 2. Rendering of the GUI with action-possibilities in the robot-view mode

Thus action-possibilities are relations between actors and objects or environment. In this case the Care-O-bot towards objects and environment, therefore the graphical user-interface requires information about states of the objects to be handled by the Care-O-bot, about the states of the Care-O-bot himself, the environment as well as the states of the

user and its unique approach to its world. In other words we require a larger picture of context. Lets say, an action-possibility ‘making coffee with sugar’ requires to know where the user is located (to bring the coffee to), whether the user is thirsty (not to provide coffee over and over again).

It further needs from the environment and objects involved whether there are empty and clean cups, as well as sufficient coffee, a clean coffee machine and so on.

The likelihood of an action-possibility is also defined by previous preferences and rituals between the robot and the elderly, that can hold in interaction in the long term.

We thus utilize desires and factual states of the actors (Care-O-bot and user) and physical states of the tangible objects and environment.

The through connection between action-possibilities and object states are conditions that have to be met in order for the action-possibility to be relevant. If someone just had a drink, and thereby has a low likelihood of thirstiness, the action-possibility ‘bring a drink’ is less relevant and should thereby be displayed smaller and more difficult to access than things that are relevant at the time of use.

B. Expressive mask

The robot-view displays what the Care-O-bot is looking at. This view is covered with a mask indicating a clear vision in the centre and dark blurred one outside the centre, as if looking through the eyes of the robot. The mask is designed to take the perspective of the robot and “share” its internal states. Other researchers have represented emotional states in robot using avatars (e.g. Valerie [10]). However, our intention was not only to represent internal states, but to actually take the perspective of the robot by looking at the external environment through its eyes. We believe that perspective taking favours empathic behaviour as discussed in [13].

The mask is dynamic. It shows different expressions “Fig. 3”, corresponding to internal states that are expressed via a shape-changing eyesight [11]. The mask is like a goggle view with an adjustable shape. The shape-changing eyesight is defined by several dynamic lines. The platform allows exploring dynamic expressions shown in the robot-view in relation to Ekman’s basic expressions and nuances found in the human face: neutral, anger, fear, disgust, joy, sadness, surprise [12].

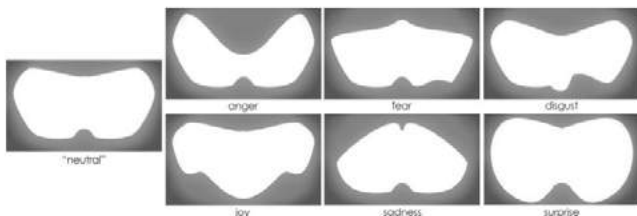


Figure 3. Expressions conveyed by the shape-changing eyesight: “neutral”, anger, fear, disgust, joy, sadness, surprise.

A comparative study has been performed to evaluate preferences of people in interacting with a static robot-view and with a dynamic, expressive robot-view (changing mask).

The results showed a preference of people to interact with the dynamic expressive mask. Expressivity was a means to stimulate empathic concern and to facilitate perspective taking during the execution of the scenarios. Details of the study are described in [13].

Parameters taken as the internal feeling of the Care-O-bot are for example how full the battery is charged or the heat of the internal processor. Parameters taken as ‘feelings’ of the Care-O-bot, that are constituted within reciprocal interplay with the environment, are for example the temperature and light intensity in the space (either by how the Care-O-bot perceives directly by its own sensors or provided by external environmental sensors). Feelings directly induced by the elderly person in interaction are for example the expressive way the interface is handled or squeezed.

III. SCENARIO

In the following, we describe the functioning of the Squeeze Me device, in a narrative way taking the user perspective.

A. Scenario “Bring me the coffee”

Ann is sitting on the sofa right after lunch. She would like to have a coffee. She takes the tablet and looks at the displayed action possibilities. With no hesitation, she selects “Coffee” and adjusts her choice by adding sugar. Then she enters the command “Fig. 4 left”.

Care-O-bot comes into action and slowly moves to the kitchen to take the coffee. After a while, Ann checks what the robot is doing in the kitchen. The GUI on the tablet allows her to see through the robot’s eyes.

Apparently the robot is taking quite a lot of time to complete the task. Coffee is ready. If the robot doesn’t speed up, she will drink a cold coffee! Therefore Ann grabs the tablet with both hands and gently squeezes it “Fig. 4 right”. The mask displayed on the tablet turns from neutral to a surprised expression.

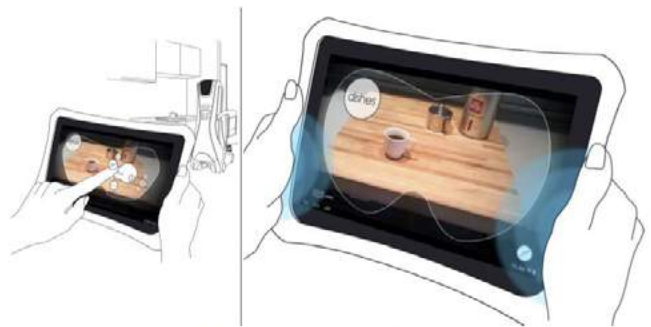


Figure 4. Ann selects “coffee with sugar” (left). Ann squeezes the tablet gently. The mask changes the expression from “neutral” to “surprise” (right).

The robot’s behaviour changes too. Care-O-bot puts the cup on the tray and slowly moves towards Ann, not to pour the coffee. The irresistible smell of the coffee makes Ann impatient. She squeezes the tablet again, more firmly. The mask on the tablet turns to neutral and the robot moves more rapidly....but not rapidly enough for Ann...who keeps squeezing the tablet.

The mask changes from neutral “Fig. 5 left” to angry “Fig. 5 right”, and the robot slows down for a short while.....it is a bit moody...

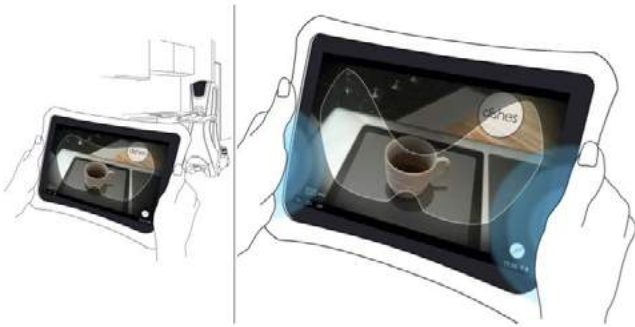


Figure 5. Ann looks through the robot’s eyes. She squeezes the tablet firmly. The mask changes the expression from “neutral” (left) to “angry” (right).

This is a little joke, a ritual among them. The mask turns again from angry to joy “Fig. 6”, and the robot rapidly delivers the coffee. Ann enjoys drinking and smiles to Care-O-bot.



Figure 6. The mask changes the expression from “angry” (left) to “joy” (right)

IV. IMPLEMENTATION

The following session contains details about the implementation of the Squeeze Me device.

The hardware is composed of three main parts “Fig. 7”:

- Cover
- Smart textile analog pressure sensors
- Electronic components

The software is organised in two main parts:

- Tablet software
- Cover software

By splitting the code, the cover becomes a standalone device, completely independent from the tablet. In this way, the technology is multipurpose, and can be integrated in different devices.



Figure 7. Rendering of the cover and the inner components.

A. Cover

The cover is designed to be ergonomic, comfortable to handle with one or two hands, and pleasant to touch and to manipulate “Fig. 8” It is made of a soft rubber that can be squeezed to share expressive behaviour with the robot, while the GUI displayed on the tablet allows for accessing actions to be performed by the robot.



Figure 8. Rendering of the internal part of the cover with sensors and electronics.

The cover is 3D printed using digital light processing technique (DLP), which uses a liquid polymer consolidated by the exposition to an adiactinic light. This technique allows the manipulation of soft-plastic materials. Moreover, the DLP printing allows for a high-level definition of the object’s details.

Two different plastic materials are used to print the cover. The black part is made of a dark malleable synthetic resin, whilst, the white part is made of an acrylonitrile-butadine-styrene (ABS). This harder plastic material allows to print a rigid central part of the cover which provides both protection and room for allocating the electronics. During the design process, we paid a particular attention to the modularity of all the cover’s components. In this way, it was easier to assemble the components, as well as to fix potential malfunctioning of a single component.

B. Sensors

During the prototyping phase, we used simple and cheap force sensor resistors (FSR), in order to test the functionality and assess the positioning of the sensors with respect to the

handgrip. After some initial testing, we replaced FSR with textile analog pressure sensors designed by Plug&Wear (<http://www.plugandwear.com>) “Fig. 9”. These sensors work as an analog press button with resistive principle. It has a very high resistivity when not pressed. Its resistance decreases when pressed. (http://www.plugandwear.com/datasheet/Datasheet_PW073_PW074.pdf).

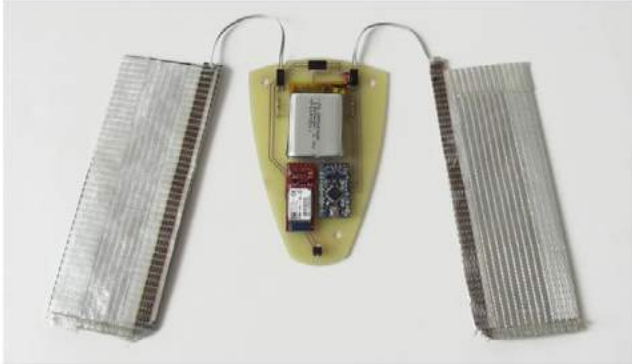


Figure 9. Smart textile analog pressure sensors and electronic components.

The smart textile pressure sensors have also the advantage to be flexible; therefore they allow to cover a wider area that becomes sensible to the user’s pressure.

C. Electronic components

The inner electronics is the core of the system. It is composed of the following elements:

- Arduino mini 328 3.3v 8Mhz
- Bluetooth modem BlueSMIRF Silver
- LiPo battery 3.7 V 1400mAH
- Analog switch on/off
- 2x 10Kohm resistor
- Printed circuit board (PCB)

In order to reduce the encumbrance of the electric wires, all components are soldered on a PCB. The circuit diagrams are shown in “Fig. 10”.

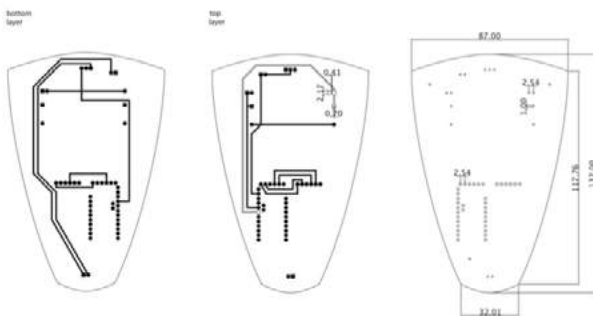


Figure 10. Circuit diagrams of the connections.

The circuit can be programmed via FTDI to a serial adapter. The power source of the system is a LiPo battery.

Both the cover and the internal circuit are designed to make it possible to recharge the battery through an external charger.

D. Software

The software controlling the cover consists of an Arduino sketch. It detects data through analog reads of sensor’s resistance variation. By using 10 Kohm pull-down resistors (1 for each sensor), it is possible to obtain an interval between 0 and 1023. This range is divided in different intervals each one associated with a graphic transition of the mask. The pressure intensity applied to the sensors, allows variations within the interval, and therefore in mask expressions.

The code provides also a digital data smoothing; each sensor is read three times and the values are stored into an array from which the modal value is extracted. In this way, we can minimize measuring errors caused by noises.

Moreover, in order to avoid that the sensors are pressed inadvertently, the sketch is implemented in such a way that it is necessary to pass a minimum pressure value simultaneously on both sensors. This means that the cover has to be squeezed with both hands to be effective.

Below this value, the system remains inactive. After the detection and smoothing phases, data are sent to the Tablet via Bluetooth connection.

The software managing the expressive mask on the tablet is written in Java and has a twofold purpose:

- To realize the “morphing effect” among the various expressions of the mask.
- To control the robot’s speed according to the pressure applied on the cover by the person when squeezing the device.

The tablet is connected to a database via WiFi, and with the cover via Bluetooth (serial communication). All the images related to the 9 basic expressions of the mask, are contained in an external database. All changes in expressions are realized through graphical transitions on the GUI. In order to achieve the “morphing effect”, such effects, different images were designed, whose transition results in a pleasant and fluid experience. The software first checks if there are inputs from the sensors inside the cover; if no input is detected (nobody is squeezing the cover), the GUI returns a neutral expression and robot’s movement results unmodified. On the contrary, when the person squeezes the device, the software retrieves the appropriate graphic transition, and the mask changes. The robot moves accordingly.

Concerning the robot’s movement, the program detects data from sensors via Bluetooth. In particular, the electronics inside the cover filters the sensor data through the Arduino board, which returns a numeric value between 0 and 1023. This value represents the pressure applied by the person on the cover (0 is no pressure). The interval between 0 and 1023 is divided in sub-intervals, used to map both the value of the robot’s speed to the sequence of images that realise the graphic transition.

The Squeeze me device has been implemented and integrated in the simulation environment of Care-O-bot “Fig. 11” to undergo some preliminary user testing.



Figure 11. The Squeeze Me device integrated in the Care-O-bot simulation environment.

The next step will be to integrate it in the real robotic platform and test it with elderly in a robot house used as one of the experimental sites of the Accompany project. Evaluations sessions have already been planned with an earlier version of the Squeeze Me, mounting a hard cover with a limited squeezable area. The early prototype was used as a proof of concept of the squeeze interaction mode. Ad hoc sessions with the latest version of the Squeeze Me, described in this paper, will be also executed in the next months.

V. CONCLUSIONS

With the design of the Squeeze Me and the GUI, we explored different opportunities for bodily interaction and contextual embeddedness in human-robot interaction. In particular, we developed a concept of tangible and embedded interaction that explores new forms of mapping of action and expression (intention), and new practices of sharing meaning between the person and the robot. These new forms of mapping are realised through different dynamics that make interaction subjective (likelihoods), rich (empathic and expressive interaction), continuous (mapping of input and output modalities in a continuous way), holistic and context depending (interaction driven by action-possibilities).

From the design viewpoint, the proposed solution is innovative since it relies on mapping actions and their effects through a continuous action-perception loop exploiting the richness and continuity of our human embodied skills.

From a technological viewpoint, the Squeeze Me addresses a number of challenges. First of all, the exploration of smart textile sensors combined with soft plastic materials. The choice of the material is fundamental to afford squeezing, and to provide a pleasurable experience of touching and manipulating. The choice of form and material is fundamental to afford squeezing, and to provide a pleasurable experience of touching and manipulating, together with a functional way to mount and dismiss it.

It is also worth mentioning that the adopted implementation allows the cover to work as a standalone device, completely independent from the tablet. This opens a wide range of possibilities for new applications of the device, from gaming to video-shooting application. More in general, it is suitable in contexts where expressivity in action can play a relevant role in what we are trying to achieve.

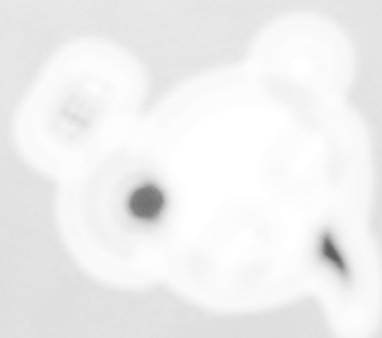
ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank Marco Bongini and Ernesto Di Iorio for their precious collaboration in the implementation of the GUI and the integration of the Squeeze Me in the Care-O-bot simulation platform. A special thanks goes also to Davide Rossi, for his support in the development of part of the electronic components of the Squeeze Me, and DWS Systems for printing the cover.

REFERENCES

- [1] E. Hornecker, “Tangible Interaction.” Retrieved 25 February 2014 from http://www.interactiondesign.org/encyclopedia/tangible_interaction.html, 2009.
- [2] M. V. Jensen, J. Buur, and T. Djojadinigrat, “Designing the user actions in tangible interaction.” In: Bertelsen, Olav W., Bouvin, Niels Olof, Krogh, Peter Gall and Kyng, Morten (eds.) Proceedings of the 4th Decennial Conference on Critical Computing, August 20-24, Aarhus, Denmark. pp. 9-1, 2005.
- [3] E. Hornecker, J. Buur, “Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction.” In: Proceedings of ACM CHI 2006 Conference on Human Factors in Computing Systems 2006. pp. 437-446, 2006.
- [4] P. Dourish, “Where the action is: The foundation of embodied interaction.” Cambridge, Massachusetts: MIT-Press, 2001.
- [5] M. Merleau-Ponty, “Phenomenology of Perception (C. Smith, Trans.)” New York: Humanities Press. (Original work published in 1945), 1962.
- [6] J.J. Gibson, “An ecological approach to visual perception.” London, UK: Lawrence Erlbaum Associates, 1979/1986.
- [7] P. Marti, J.T. Stienstra, “Exploring Empathy in Interaction: Scenarios of Respectful Robotics.”, *The Journal of Gerontopsychology and Geriatric Psychiatry. GeroPsych*, 26 (2), pp. 101-112, Hogrefe Publishing, 2013
- [8] J.T. Stienstra, P. Marti, “Squeeze Me: Please gently.” Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction NordiCHI 2012, Copenhagen, 14-17 October, pp. 746-750, 2012.
- [9] F. Amirabdollahian, R. op den Akker, S. Bedaf, R. Bormann, H. Draper, V. Evers, J. Gallego Perez, G.J. Gelderblom, C. Gutierrez Ruiz, D. Hewson, N. Hu, K.L. Koay, B. Kroese, H. Lehmann, P. Marti, H. Michel, H. Prevot-Huille, U. Reiser, J. Saunders, T. Sorell, J.T. Stienstra, D. Syrdal, M. Walters, and K. Dautenhahn, “Assistive technology design and development for acceptable robotics companions for ageing years.” *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, pp. 1-19, 2013.
- [10] C. Rich, C. L. Sidner, “Robots and Avatars as Hosts, Advisors, Companions, and Jesters.” *AI Magazine* 30(1), pp. 29-41, 2009
- [11] J.T. Stienstra, P. Marti, M. Tittarelli, “Dreamy Eyes: Exploring Dynamic Expression in Human-System Interaction.” Proceedings of CHI 2013, Paris, 27 April – 2 May 2013.
- [12] P. Ekman, “Basic Emotions.” In Dalgicish T; Power, M, *Handbook of Cognition and Emotion*, Sussex, UK: John Wiley & Sons (1999).
- [13] P. Marti, I. Iacono, M. Tittarelli, J.T. Stienstra, “Shaping empathy through perspective taking.” Proceedings of the 22nd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. August 26-29, Gyeongju, Korea, 2013.

DESIGN
CASE
2





Contesto applicativo

La dislessia è una difficoltà di apprendimento di origine neurologica, caratterizzata dalla difficoltà nel riconoscimento accurato e/o fluente di parole, e da limitate abilità di *spelling* e decodifica. Non rientrano in questa definizione disturbi che, pur manifestando un'analogia sintomatologia, dipendono da altre forme di disabilità come sordità, deficit cognitivi, traumi cerebrali, etc. (International Dyslexia Association, 2002).

Le difficoltà legate direttamente alla dislessia sono in genere il risultato di un deficit nella componente fonologica del linguaggio, che appare inaspettato in relazione alle abilità cognitive del bambino e all'efficacia dell'istruzione scolastica ricevuta. Le difficoltà dell'allievo dislessico possono essere anche dovute ad una combinazione di deficit fonologico, auditivo, visivo e mnemonico. La dislessia può essere associata ad altri disturbi dell'apprendimento, come la difficoltà di comprensione del testo scritto, disgrafia e disortografia, deficit di attenzione, problemi psico-affettivi (bassa autostima, asocialità, stati d'ansia, depressione). La dislessia può essere, inoltre, conseguenza di una "ridotta esperienza nella lettura", che impedisce l'espansione del bagaglio lessicale e di conoscenze sul mondo.

Per ovviare a queste difficoltà, il soggetto dislessico fa spesso prevalere una "componente intuitiva", ossia una strategia che lo porta a "non decodificare", ma ad "intuire" la parola scritta in base alle prime parole, grafemi o sillabe che riesce a decodificare portandolo a commettere errori definiti "di anticipazione" dove la parola del testo viene trasformata in un'altra. Come si può facilmente evincere, le implicazioni di questi fattori rappresentano uno scoglio importante nella vita scolastica e in quella relazionale nei bambini che presentano questo disturbo. La dislessia, pur non essendo causata da deficit neurologici o sensoriali, comporta un forte disagio emotivo nelle relazioni interpersonali che spesso si tramuta in demotivazione e atteggiamenti rinunciatari e, più in generale, in una perdita di fiducia nelle proprie capacità (De Beni et al., 2000).

Ipotesi di ricerca

Le terapie di supporto per il trattamento della dislessia sono generalmente basate su esercizi cognitivi astratti, come ad esempio la ripetizione di liste di parole e non-parole (Dollaghan e Campbell, 1998) che contengono grafemi e fonemi di difficile discriminazione per i soggetti che presentano questo disturbo. Questi esercizi possono risultare frustranti e demotivanti soprattutto per soggetti in giovane età: sia per la loro ripetitività, sia per il fatto che tale attività avviene in un contesto formale, dove spesso il bambino si trova solo di fronte al compito proposto dal terapeuta.

Nella nostra ipotesi di ricerca si è pensato che un'attività motivante e coinvolgente, basata sulla musica e sull'interazione fra pari, potesse supportare e compensare i trattamenti logopedici riabilitativi solitamente utilizzati nella cura della dislessia. La musica induce e sollecita infatti l'attivazione simultanea di connessioni neurologiche a più livelli: spaziale, gestuale, comunicativo, linguistico, emozionale e relazionale. Questo coinvolgimento "olistico" può facilitare l'acquisizione del linguaggio, rispetto ai tradizionali approcci di tipo parziale, provvisorio e meccanico (Chan et al., 1998, Overy, 2003).

È stato inoltre dimostrato che i dislessici sono "apprendenti cinestetici" (Prashnig, 1998), cioè che traggono beneficio nel processo di apprendimento da stimoli a livello motorio: le

loro capacità attentive e mnemoniche si focalizzano in misura maggiore quando utilizzano le mani e il corpo (Dennison G. E. e Dennison, P. E., 2000). In questo modo l'informazione linguistica può essere compresa e "fissata" nella memoria in modo più agevole e persistente. In accordo con i terapeuti che hanno seguito lo sviluppo del progetto, si è pensato di utilizzare la Dj Console del Sistema Sound and Sensors (http://www.roboticsandlearning.org/?post_type=portfolio&p=314&lang=it), facendo leva sull'aspetto ritmico e "sequenziale" della musica e sul coinvolgimento del corpo che lo strumento richiede. Nello specifico, si è pensato di strutturare un'attività di tipo ludico-creativo, in cui i bambini potessero mettere in campo attivamente le loro capacità creative ed espressive, per compensare le loro difficoltà di letto-scrittura.

La parola scritta, in base alla nostra ipotesi di ricerca, non sarebbe più stata percepita dai soggetti coinvolti come un insieme di segni astratti e arbitrari da decodificare, ma avrebbe assunto un significato concreto, contestualizzata nel loro vissuto.

Ispirazione

Il cantato rap (Edwards, 2009) si basa sulla creazione o l'improvvisazione di un testo che, solitamente, viene eseguito su una semplice base ritmica. Questa tecnica coinvolge fortemente il corpo nel controllo della respirazione e implica una buona abilità nel pronunciare, in maniera accurata e fluente, le parole e/o le sillabe del testo. Questi elementi rappresentano dei fattori chiave nella compensazione delle problematiche linguistiche e relazionali legate alla dislessia. L'ispirazione per il progetto è venuta riflettendo sull'interessante paradosso che si generava tra il cantato rap e la dislessia.

Abbiamo infatti ipotizzato che i bambini potessero essere stimolati attraverso una "sfida-gioco" con il rap: non per evidenziare i loro errori, ma permettendo loro di confrontarsi fra pari in maniera divertente, facendo leva sulle loro abilità creative, sottolineando il valore del ritmo nella produzione linguistica ed evidenziando l'aspetto narrativo e non "astratto" che assume la parola all'interno di un testo.

All'inizio è stata strutturata un'attività in cui ai bambini veniva proposto di scrivere i propri testi inserendo nella narrazione 5 parole contenenti fonemi che risultano di difficile discriminazione per i dislessici (ad esempio p-b, b-d, a-e, m-n, etc...). I bambini dovevano poi *rappare* il testo seguendo il ritmo dei *sample* (brevi tracce musicali campionate) generati dalla Dj Console. Interagendo con essa potevano adeguare la velocità di riproduzione dei *sample* in base alla metrica del testo o in base alle proprie abilità nella fluenza.

Nel paper 5 viene descritto come questa attività iniziale sia stata ridefinita, attraverso tre cicli di prototipazione iterativa, nel corso della sperimentazione (pp. 101-104).

Interfacce tangibili

Nell'ambito di ricerca sulle Tangible User Interfaces si è andati ad esplorare le possibilità offerte dall'utilizzo della piattaforma *open source* Arduino (<https://www.arduino.cc/>) in combinazione con il software, anch'esso *open source*, Pure Data (<https://puredata.info/>) come strumenti per la realizzazione di prototipi destinati al controllo e alla manipolazione del suono. In particolare, facendo riferimento agli "archetipi" di alcuni strumenti musicali, sono

stati realizzati, con il progetto Sound and Sensors, una serie di strumenti musicali “eco-tecnologici” impiegando materiali riciclati o di riuso (Fig 16). Tutto questo è stato fatto per concretizzare un’attività ludica e coinvolgente che permettesse di evidenziare il legame fra il lato tangibile (fisico) e quello immaginario della produzione del suono e la sua modulazione mediante l’utilizzo di “oggetti aumentati”.

Precedenti esperienze come il progetto Musical Box Garden (Ferris and Bannon, 2002) dimostravano infatti la fascinazione che conseguiva dalla produzione di suoni mediante la manipolazione di un oggetto apparentemente vuoto e “atono” come può essere un oggetto in cartone.

Sound and Sensors (pp. 92-93) è un sistema composto da cinque strumenti (realizzati con cartone multistrato, tubi di cartone e stoffa) che contengono dei sensori analogici e digitali al loro interno. Il sistema può essere considerato una TUI che rispecchia il modello integrato (p. 36): gli strumenti infatti sono mobili e contengono al loro interno i sensori che permettono di rilevare gli input dello user (Fig. 17). I feedback audio non vengono espletati direttamente dai singoli strumenti ma dal PC o dai diffusori ad esso collegati al fine di ottenere una propagazione qualitativa del suono. I sensori contenuti negli strumenti possono essere rimossi in qualsiasi momento e riadattati in altri prototipi o progetti.

Ogni strumento (Dj Console, chitarra elettrica e basso elettrico, didgeridoo e theremin) ha una diversa modalità di interazione attraverso la quale si possono produrre suoni che vengono generati dal PC. Ogni modalità di interazione è stata progettata facendo riferimento all’archetipo dello strumento rappresentato e al modo in cui viene suonato: ad esempio, la chitarra elettrica riproduce il suo suono solo nel caso in cui il “manicotto” in stoffa viene “scosso” parallelamente al terreno, proprio come avviene nelle pennate utilizzate da un chitarrista ritmico.

Tutti gli strumenti sono stati “facilitati” rispetto ai loro corrispettivi “reali” per permettere a qualsiasi persona di interagire, sia con il proprio strumento che con gli altri “musicisti”.

Se questa condizione va garantita, per consentire anche alle persone che non hanno conoscenze musicali di poter suonare, ne abbiamo allora ricavato la conclusione che il sistema dovesse contemplare un fattore “errore” per avere, fra i suoi punti di forza, qualità educative e di *engaging*.

In questa ottica, a differenza di altre interfacce tangibili destinate alla musica, in cui il suono generale viene sempre riprodotto “a tempo” (ad esempio reacTable e Audiocubes) e il cui suono generale ha una maggiore o minore resa a seconda del “gusto” di chi lo utilizza, ab-

Figura 16

Il primo prototipo della Dj Console del sistema Sound and Sensors realizzata con cartone multistrato e oggetti di riuso.



biamo pensato che fosse importante proporre un sistema che permette agli user di sperimentare e apprendere, attraverso il corpo, alcuni aspetti fondamentali della musica come il ritmo, la dinamica e la successione di note. Lo user che utilizza la chitarra elettrica, ad esempio, deve seguire il tempo generato dalla Dj Console per non incorrere in asincronie, allo stesso tempo lo user che utilizza il Theremin deve produrre una successione di note che ben si adattano alla melodia prodotta dagli altri strumenti per non generare dissonanze. Nel paper 4 sono descritti gli strumenti, le modalità di interazione, i sensori che integrano ed il loro funzionamento dal punto di vista tecnologico.

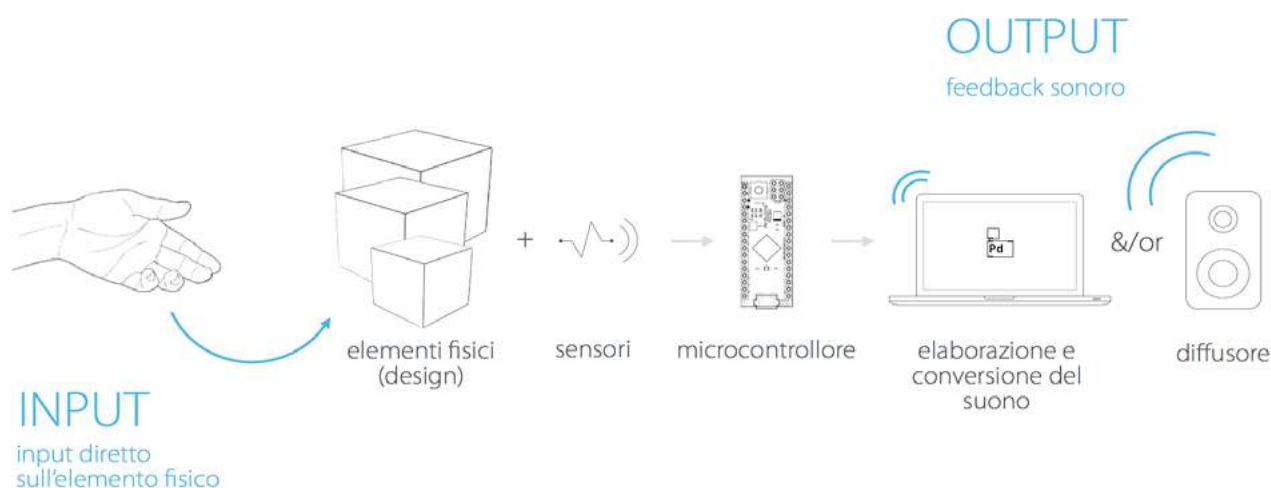
Spesso, i prototipi finali sono realizzati integrando la parte hardware e software direttamente nel prototipo come, ad esempio, nel caso del progetto *reactTable* (p. 23) in cui il tavolo cilindrico su cui si può interagire funge da supporto e da contenitore per le componenti destinate alla elaborazione delle interazioni. In altri casi i prototipi finali di un progetto presentano componenti separate fra la parte in cui si interagisce e la parte in cui viene esperito il feedback, come ad esempio nel progetto *Linguabytes* (p. 22). Solitamente però, come nell'esempio citato, i prototipi vengono realizzati con materiali "più nobili" come il legno o parti stampate attraverso tecniche di produzione additiva (stampa 3D).

La realizzazione dei prototipi ha ricalcato l'approccio progettuale che, nel nostro caso, è stato di tipo *research-through-design*. Questa metodologia può essere definita di tipo *knowledge-directed* (Zimmerman et al., 2007) e ha lo scopo di produrre nuova conoscenza e, conseguentemente, nuove soluzioni di design attraverso una sperimentazione diretta sul campo. Non è un caso infatti che durante la sperimentazione sia stato realizzato il prototipo di un nuovo strumento: il Clap.

Procedendo con questo approccio è stato possibile modificare i prototipi in un arco di tempo molto limitato, in alcuni casi pari a poche ore, e il design e i materiali utilizzati ci hanno permesso di sperimentare in maniera immediata la qualità delle nuove soluzioni adottate. Il particolare l'utilizzo del cartone multistrato e della stoffa hanno permesso un facile e veloce redesign del prototipo in base alle esigenze, di interazione e di strutturazione delle attività, che si andavano delineando durante le fasi di test e sperimentazione. Il cartone multistrato, in special modo, permette di apportare modifiche molto rapide al prototipo se confrontato con altre tecniche di prototipazione, come ad esempio la stampa in 3D o l'utilizzo di una *laser cutter*. Con queste tecniche occorre, necessariamente, un redesign dei file 3D o 2D prima di avviare i nuovi processi di stampa o di taglio e la successiva rifinitura: processi più onerosi dal punto di vista delle tempistiche di realizzazione.

Figura 17

Schema del progetto Sound and Sensors.



La resistenza del materiale, la sua piacevolezza al tatto e, non ultima, la fascinazione che deriva da un materiale "povero" che integra una componente tecnologica hanno consentito di creare un prototipo che, ci permettiamo di asserire, assomiglia più ad un prodotto finito che non ad un "rough prototype".

Prototipo

Il sistema è composto da una serie di sensori analogici e digitali integrati nei prototipi che inviano i valori, attraverso dei cavi *flat*, ad una scheda Arduino 2009: questi valori vengono poi inviati via cavo, mediante trasmissione seriale, al software PureData che consente di elaborarli in ingresso e di convertirli in suoni. Nel nostro caso il software PureData si è rivelato uno strumento essenziale per "tradurre" l'interazione gestuale con gli strumenti in suono attraverso la realizzazione di apposite *patch*. Ai fini del sistema si è proceduto alla realizzazione un codice, attraverso il software di Arduino, deputato alla sola lettura dei sensori e all'invio dei valori, essi vengono poi elaborati direttamente nelle *patch* del software Pure Data per sfruttare le maggiori capacità di calcolo del PC rispetto al microcontrollore.

L'architettura del sistema consiste in una serie di *subpatch*, ognuna delle quali gestisce i valori ed il suono prodotto da ogni singolo strumento, che sono contenute in una *patch* "principale" (Fig. 18).

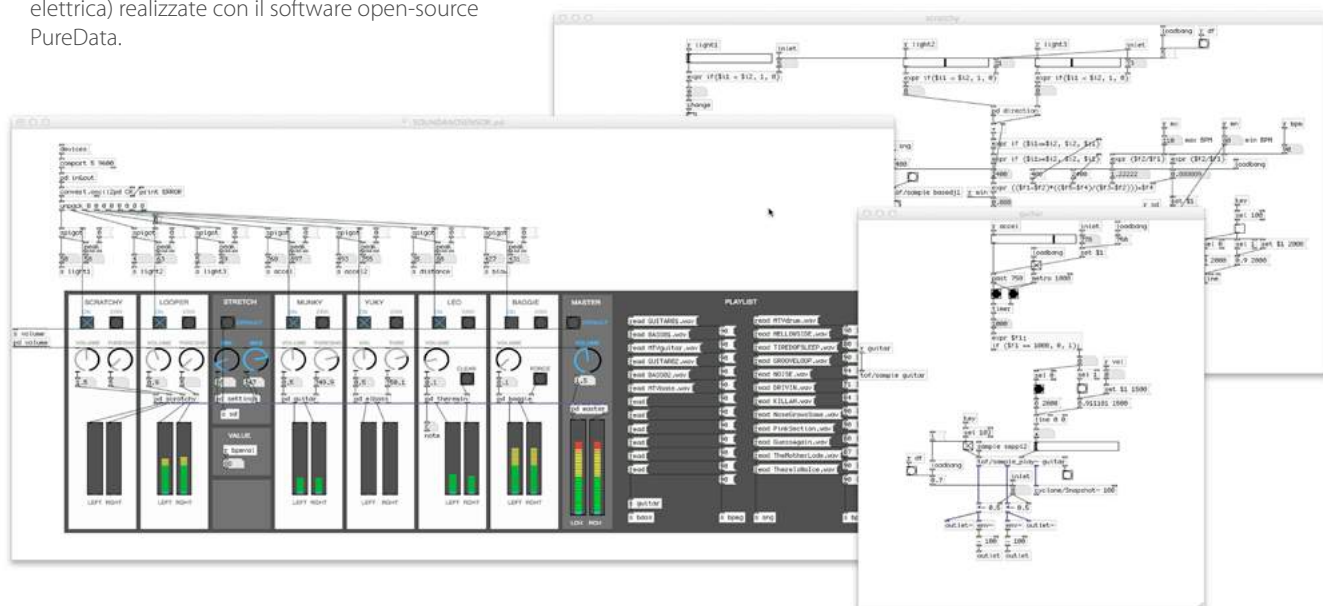
In quest'ultima è stata realizzata, utilizzando gli elementi visuali e interattivi del software (*bang*, *toggle*, *numbers*, *objects*, *knob*, etc.), una vera e propria GUI. Da questa *patch* possono essere gestiti, direttamente dal PC e in un'unica schermata, la *comport* del sistema (per gestire le interfacce seriali), le soglie (*threshold*) per i sensori di ogni strumento, i volumi e la playlist dei file che possono essere caricati e riprodotti.

La GUI realizzata visualizza inoltre, in tempo reale, informazioni molto utili per le performance live come il valore ed il *peak* dei sensori, il valore in BPM (Beats Per Minute) dei file audio in riproduzione e il livello di suono in uscita.

Fra gli strumenti del sistema Sound and Sensors la Dj Console è stato lo strumento scelto per le fasi di sperimentazione e valutazione del prototipo. In accordo con i terapeuti, e data

Figura 18

Screenshot della *patch* "principale", sulla sinistra, e di due delle *subpatch* (Dj Console e chitarra elettrica) realizzate con il software open-source PureData.



l'ipotesi di ricerca basata sul cantato rap, si è infatti pensato che fosse lo strumento più idoneo per questa attività. La Dj Console del sistema Sound and Sensor è uno strumento che permette di modificare la velocità di riproduzione dei *sample* in esecuzione e di generare un effetto "*scratch*". E' composta da due CD-ROM posti sopra due dischi in cartone collocati su una base di forma trapezoidale, anch'essa realizzata in cartone multistrato. Ruotando il CD-ROM di destra si può aumentare o diminuire la velocità di riproduzione del *sample* in esecuzione mentre, con quello di sinistra, si può "*scratchare*" sul brano in esecuzione. I due dischi di cartone contengono al loro interno dei sensori di luce ambientale posti sotto piccoli fori. Questi sensori funzionano in maniera molto simile ai transistor, producendo un maggiore valore di tensione analogica sul PIN della scheda Arduino quando la luminosità è maggiore e un valore minore quando essa diminuisce. Nei due CD-ROM sono state poste due strisce adesive di colore nero che permettono di rilevarne la velocità di rotazione: un sistema molto simile al principio di funzionamento di un *encoder* ottico.

Durante il test pilota e le prime tre sessioni della sperimentazione ci si è accorti della necessità di rendere più intuitiva l'interazione con questo strumento. Le indicazioni degli utenti, le osservazioni sul campo e la video analisi delle sessioni evidenziavano una difficoltà nel percepire le variazioni della velocità di riproduzione dei *sample*.

Per questi motivi, in un'ottica di *user centred design*, il prototipo è stato modificato rispetto alla sua conformazione originaria operando modifiche a livello hardware e software. Il *mapping* con lo strumento è stato reso più intuitivo realizzando una modalità di interazione che permette di aumentare la velocità di riproduzione ruotando il CD-ROM in senso orario e di ridurla ruotandolo in senso antiorario (Fig. 19). Operando via software, il feedback sonoro è stato reso maggiormente percepibile, facendo aumentare o diminuire il *playback* per un valore ben distinguibile (pari a 3 BPM).

Oltre a ciò, è stato aggiunto un feedback visivo inserendo due LEDs, uno per ogni disco di cartone, che si illuminano ogni volta che il ritmo subisce una variazione o quando si utilizza lo *scratch*. Il processo di *research-through-design* adottato ha permesso non solo di definire e migliorare la qualità dell'interazione con lo strumento proposto ma ha anche suggerito ed ispirato la creazione di un secondo prototipo da affiancare alla Dj Console durante l'attività.

Con il duplice intento di aumentare il coinvolgimento del corpo nel mantenimento del ritmo e di incrementare l'aspetto collaborativo dell'attività si è pensato di realizzare un nuovo

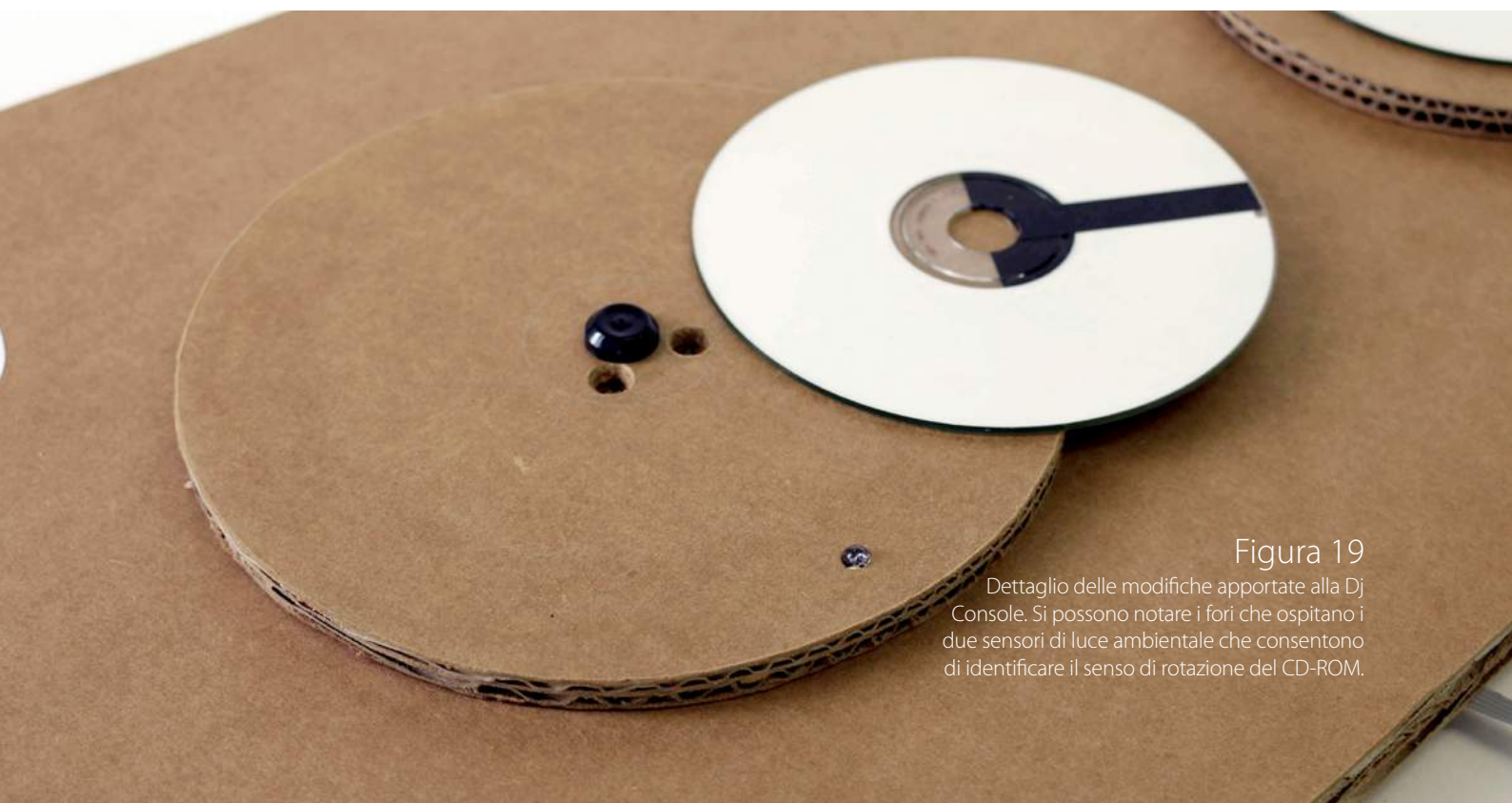


Figura 19

Dettaglio delle modifiche apportate alla Dj Console. Si possono notare i fori che ospitano i due sensori di luce ambientale che consentono di identificare il senso di rotazione del CD-ROM.

strumento: il Clap. Questo consiste in un guanto "touch sensitive" composto da due fogli conduttivi cuciti su di un tessuto elastico: le due parti entrano in contatto sfruttando la conduttività del corpo (p. 103). Il Clap permette di "marcare" il ritmo della canzone ricevendo un feedback sonoro: se il tempo è tenuto in maniera corretta, il volume del suono riprodotto è perfettamente udibile; viceversa, se le mani vengono battute fuori tempo, il volume è ridotto sensibilmente. Questa caratteristica restituisce un feedback audio molto intuitivo che consente allo user di comprendere se sta tenendo il tempo in maniera corretta (colpo in battere) oppure no (colpo in levare) e, conseguentemente, di imparare a "tenere il tempo".

Sperimentazione e valutazione

La sperimentazione è stata condotta presso il Centro F.A.R.E. di Perugia (<http://www.centrofare.it>), specializzato nel trattamento dei disturbi specifici dell'apprendimento. In accordo con i terapeuti del Centro, che hanno coadiuvato e supervisionato costantemente le attività, è stata condotta una sperimentazione della durata di un mese suddivisa in nove sessioni. Alle sessioni hanno partecipato due bambini (un maschio ed una femmina rispettivamente di 11 e 12 anni) che hanno eseguito, prima e dopo l'intero ciclo di attività, il test delle parole e quello delle non-parole al fine di valutare le loro competenze iniziali e poter così valutare eventuali miglioramenti.

La sperimentazione non si è concretizzata solo nella valutazione dei risultati e dell'efficacia degli strumenti proposti, ma è servita soprattutto per riprogettare e ridefinire in corso d'opera i prototipi (Fig. 20) e la strutturazione dell'attività.

Nel paper 2 vengono riportati i risultati della sperimentazione e le metodologie di valutazione adottate.

Figura 20

Prototipo finale della Dj Console.



Paper 4

Lund, H.H., Marti, P., Tittarelli, M. (2014). Remixing Playware. In *Proceedings of The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Edinburgh, Scotland, UK August 2014.

Il paper descrive il concetto di *remixing playware*, un approccio progettuale basato sul remix sia fisico che funzionale per i sistemi dedicati alla musica e alla performance musicale. Si focalizza sugli aspetti di *user-configurable modularity*, *user-guided* e *behavior-based system* come metodologie progettuali e realizzative che permettono allo user di riconfigurare, in maniera coinvolgente, il suono di una composizione musicale. Il concetto di *remixing playware* viene introdotto da Henrik Hautop Lund ed esplicitato attraverso diversi esempi di interfacce grafiche, come la *app* MusicTiles, e interfacce tangibili come i MagicCubes, il sistema RoboMusic ed il sistema Sound and Sensors.

Nel paper ci siamo occupati, assieme a Patrizia Marti, della descrizione delle modalità di interazione, del funzionamento e delle tecnologie applicate ai cinque strumenti del sistema Sound and Sensors (S'n'S) dei quali abbiamo curato l'ideazione, lo sviluppo e la realizzazione.

Video 4

Il video (http://www.roboticsandlearning.org/?post_type=portfolio&p=314&lang=it) presenta tre dei cinque strumenti che compongono il sistema S'n'S.



Remixing Playware

Henrik Hautop Lund, Patrizia Marti, Michele Tittarelli

Abstract— In this paper, we describe the concept of remixing playware, which allows sampling and remixing of both physical and functional (e.g. music content) aspects of a system. Such remixing playware has a number of distinguished features which are explained in the paper: *user-configurable modularity*, which allows the user to interact and manipulate with samples; *user-guided behavior-based system*, which allows music compositions to emerge from the way performer interacts with the instruments that provide the primitive behaviours; *intelligent sampling* as the ability of creating samples that allow anybody to remix with the samples ensuring an engaging outcome. The paper exemplifies remixing playware with a variety of implementations in RoboMusic concerts, the virtual MusicTiles app, the physical MagicCubes, the physical dices in Peter Gabriel concerts, and the S'n'S system. These examples focus on music creation and performance, based upon the concept of RoboMusic, and it is argued that the concept of remixing playware extends to many other application areas of playware.

I. INTRODUCTION

Playware has been defined as intelligent hardware and software that creates play and playful experiences for users of all ages [7, 8], and R&D in playware has led to numerous applications in various areas such as rehabilitation [4], playgrounds [8], education [9], art [11], and sport [12]. In all such cases, users interact with the playware as a free and voluntary activity that they engage in for the pleasure of play, even if the activity may be shown to have collateral effects e.g. in terms of health and skills. It has been proposed that *modular playware* is of particular interest to develop solutions for such varied areas of application, since modularity may facilitate easy assembly and adaptation of the playware to different interaction modalities [10]. We can view the modular playware as enabling the user to *remix* with modules to combine and construct new playware solutions.

There are several issues that need to be confronted to create such playware which work as a play force to push people into a play dynamics. These issues include aspects related to both the hardware and the software, i.e. to the *physicality* and to the *contents*, to ensure that the playware

Henrik Hautop Lund is with Centre for Playware, Technical University of Denmark, Building 325, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark (e-mail: hhl@playware.dtu.dk).

Patrizia Marti is with the Department of Social Political and Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena and Eindhoven Technical University (e-mail: patrizia.marti@unisi.it).

Michele Tittarelli is with the Department of Social Political and Cognitive Science, University of Siena, Via Roma, 56, 53100 Siena (e-mail: michele.tittarelli@unisi.it).

mediates an enjoyable and playful interaction for the users, which will bring them into a play dynamics. In this paper, we will address these issues related to the development of playware which facilitates the creation of joyful interaction and creation with both physicality and content as a form of remixing. We will do so by focusing on one specific application area, namely music creation and performance, based upon the concept of RoboMusic, though we argue that the concept of remixing playware extends to many other application areas of playware.

II. REMIXING

Remixing is most often attributed to music remix, well known since the 1960s and 1970s DJs in urban USA, and the 1980s work on megamixes by artists such as Grandmaster Flash, and the hip hop culture. The remixing culture in music has been refined over half a century until today with clear influence on modern turntable and trip hop groups such as C2C, Kireek, Chinese Man, etc. who combine remix and mashup. Remixing uses samples from one particular composition, and mashups remix from two or more sources.

Where DJs mixed parts of music records by fast and skilled intersecting the vinyl record tracks on DJ turn tables, during the 1980s the DJs and hip-hoppers turned to the sound studios to produce sampling bits of music by cutting and pasting pre-recorded material to create their own music compositions. This kind of sampling facilitated the remixing to a high degree, since the DJ producers could carefully prepare and perfect the cutting and production of the samples.

Interestingly, we see remixing in many other areas than music. For instance, Pagliarini and Lund [17] outlined how writing in the 21st century can be viewed as *Darwinian Writing* by utilizing “cut and paste”, “undo” or “T9text input” to change the way we write and, therefore, how we think and communicate. This kind of text sampling and remixing was termed Darwinian Writing due to the resemblance of DNA evolution, where the outcome is a mixture of old pieces with crossovers and mutations. Similarly, in his excellent review, Navas [15] describes regenerative remix of networked media through software (e.g. as reflexive mashup of news from different web-sites). In a sense, the new media with file sharing, streaming of video and audio, etc. depends on sampling in the same way that the DJs depend on sampling, or as Navas puts it “culture is redefined by the constant flow of information in fragments dependent on the single activity of sampling. The ability to manipulate fragments effectively, then, extends principles of Remix even in practical terms” [15].

Also, physical reality can be subject to sampling and remixing. We observe a clear evidence of such physical remixing in modular robotics, e.g. in self-reconfigurable modular robots such as ATRON [16], M-TRAN [13], etc. in which the physical robot is defined by the assembly of robotic modules. The overall physical structure and behavior of the robot emerges from the coordination of all the modules that constitute the robot. We can interpret the physical modules as the samples.

This extends particularly to *user-configurable modular robotic systems*, which allow the user to interact and manipulate with the modules (samples). In a *user-configurable modular robotic system*, the user constructs with modules (i.e. samples) to create a physical system and the functionality of this system. By remixing the physical shape of the entity, the user can change the functionality of the system. This remixing happens simply by attaching or detaching modules and moving modules to different positions. Hence, in such a case, the user is making the physical configuration in a hands-on manner based on remixing the samples (i.e. modules), and the user does not need to do traditional programming to change the functionality of the system. As soon as the user is remixing with the physical modules there is a reaction in the environment, i.e. there is *action in the interaction* [8].

The modules constituting such a user-configurable modular robotic system can be characterized as samples. In the same way as the DJ is dependent on the samples to have “the ability to manipulate fragments effectively”, the composer of the modular robotic system depends on the samples’ (i.e. modules’) quality to become remixed. Several factors in the definition and implementation of these modules have consequences for the remixing potential of the system. These factors include the modules’ granularity, autonomy, connectivity, affordance, transparency, and interaction [5].

In terms of content (e.g. music, software) remixing, there is an interesting distinction between reflexive remixes and regenerative remixes, where reflexive remixes essentially are based on static samples with a recognizable historical path, and regenerative remixes relies on dynamic samples that are continuously updated [15]. Remarkably, regenerative remixing can even be extended to the physical form of samples if the sampling material is regenerative, for instance in the form of smart material or natural material.

Hence, samples extend from their traditional definition as content samples to become samples with both a physical and a functional meaning, which can be remixed. This extension is particularly clear in RoboMusic.

III. ROBOMUSIC

The RoboMusic concept [11] was developed to allow any user to interact with a professional music performance through the interaction with physical, intelligent objects. For instance, in the first RoboMusic concert in 2007 together with World Music Award winner Funkstar De Luxe, the interaction happened with modular interactive tiles, rolling pins and cylinders [11] (see “Fig. 1”), and the Center for

Playware later made RoboMusic versions using cubes [3] and tiles. When interacting with these physical, intelligent objects, the user activates, changes or de-activates a sound “Fig. 2”.



Figure 1. Left: Two Tiles and a RollingPin used as robotic instruments. Right: The RoboMusic live concert set-up, with Funkstar De Luxe’s control station in the center, and the robotic instruments on the side of the stage.

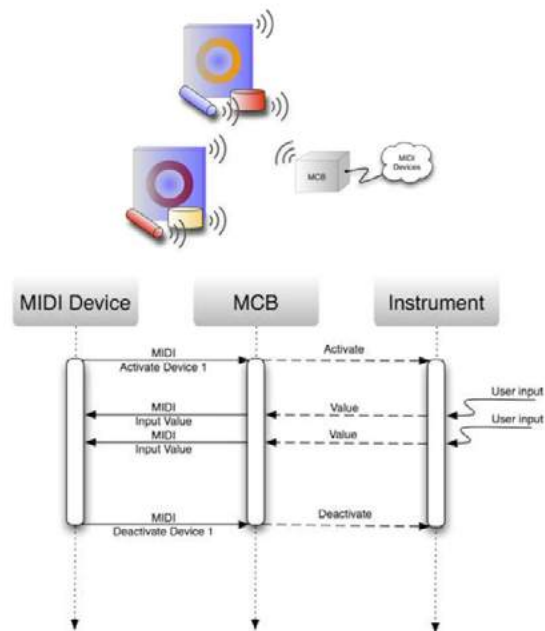


Figure 2. For the first RoboMusic concert, we used an interaction pattern in which physical objects as tiles, rolling pins, and cylinders (“Instruments”) are communicating to a MIDI Control Box (“MCB”), which is connected to a PC running Cubase or Ableton Live (“MIDI Device”). The original RoboMusic concept allows also communication in the direction from PC (“MIDI Device”) to tiles (“Instruments”) through the MIDI Control Box (“MCB”).

RoboMusic defines a novel genre of music. In RoboMusic, music is composed using robotic instruments, music is recorded based on playing robotic instruments, and concerts are performed with robotic instruments. In these terms, a robotic instrument is programmable instrument that by its interaction with the surrounding through sensors and actuators can be used for playing a variety of tunes. Through communication, robotic instruments can be used together to orchestra an ensemble. If left untouched by human (or environmental) interaction, the robotic instrument will behave with its own performance composed by the music artist. When a human or other environmental subject interacts with

a robotic instrument, the instrument may change performance from its normal autonomous behaviour. As outlined by Lund and Ottesen [11], the artistic and technological challenge of the music artist is to compose baseline behaviour of the robotic instruments and compose the behavioural response to interaction by human musicians. The music artist is transformed from a composer of static music tunes to a developer of robot behaviours – behaviours that are expressed by the robotic system as music pieces. Music compositions are transformed from being static to become dynamic; music compositions are transformed from being static nodes to become robotic behaviours.

This sound that the user activates, changes or de-activates can be more or less complex. In order to produce an appealing sound, it is of crucial importance to create a RoboMusic soundscape which fits the RoboMusic concept of allowing the user to interact with the music. We can find a parallel in the behavior-based approach in that the programmer is designing the default music behavior, and the user provokes smaller behavioral deviations by the physical interaction [11].

Indeed, as a kind of *user-guided behavior-based system*, in RoboMusic, the design challenge is to create primitive ‘robotic’ behaviours and to coordinate these primitive behaviours in order for the music piece to emerge as the coordination of primitive behaviours. Thereby, a music composition emerges from the way the composer, musicians or audience interact with the ‘robotic’ instruments that provide the primitive behaviours.

Each ‘robotic’ instrument is used to trigger a particular primitive behaviour dependent on the interaction with the instrument(s). In RoboMusic, the primitive behaviours can be anything from a volume or a cut-off to a small sequence of tones. The music composer designs the way in which the primitive behaviours that are triggered should interact with each other.

As is the case when designing behaviour-based robots such as mobile robots (e.g. [2]), the robot designer (in this case the music composer) designs the primitive behaviours and the coordination scheme. And, as is the case with *user-guided behaviour based robotics* [5], if non-expert users (e.g. live concert audience) are supposed to manipulate and become creative with the systems, it is crucial that the designer (music composer) creates primitives on a fairly high abstraction level that allows the non-expert user to understand and have positive feedback from the human-robot interaction within a very short time frame.

Hence, the art of sampling is taken one step further than the creation of static samples by DJs for their personal remixing on records and performances to become intelligent sampling. By *intelligent sampling* we intend the art of creating samples that allow anybody to remix with the samples ensuring a meaningful outcome, where meaningful content and physicality may be in terms of e.g. aesthetics and expressiveness. In intelligent sampling, the producer or music composer must design samples for their ability to be remixed in any imaginable combination within the limits that are designed by the system (e.g. limits on when it is possible to

interact with a robotic module, limits on which modules can be combined). So the challenge goes beyond that of the traditional DJ sampling work, since intelligent sampling envisions and facilitates the dynamic life of the samples in remixing.

IV. VIRTUAL AND PHYSICAL SAMPLING IN MUSICILES

By releasing the MusicTiles app with the So album, together with Peter Gabriel, we explore the intelligent sampling to allow us to give the music into the hands and the creative minds of the fans worldwide. Whereas the traditional music industry is characterized by artists releasing songs and albums in a fixed format for CDs, iTunes, and streaming services, the MusicTiles app allows the music to become a flexible format that can be manipulated by anybody, anywhere, anytime. Instead of listening to a hit song in the same format over and over again, MusicTiles allows the listener to change (remix) the hit song over and over again according to the listener’s own taste and creativity. The music fan is transformed from a passive listener to an active performer.

The remixing of songs is done in a playful manner using virtual modular tiles: samples in the form of music content and graphical representation. By simple constructions with modular tiles on the iPhone or iPad, the user creates new versions of the songs dependent on where and when the modular tiles are put together. On the iPad or iPhone, a number of modular tiles are shown in a grid on the screen “Fig. 3”. Each modular tile has a colour and represents an instrument or a particular musical stem “Fig. 4”. For instance, a yellow tile represents guitar, and a light blue tile represents vocal. When two tiles are put next to each other (connected), they will start playing. For instance, connecting a yellow and a light blue tile will produce guitar and vocal sound. However, the sound of each instrument depends on where the tile is connected. Connecting a tile to the North side gives one sound, another sound is produced when connecting the tile to the East side, another sound is produced to the South side, and another to the West side. Having two, three or four tile neighbours connected may also produce different sounds. For instance, the guitar may sound in up to seven different ways, depending on how you connect the tile representing guitar.

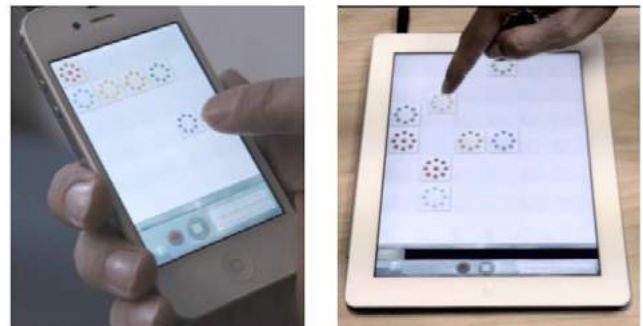


Figure 3. The MusicTiles app on iPhone and iPad, which allow anybody to remix Peter Gabriel and other hit artists by intelligent sampling, moving coloured tiles (samples) around on the screen.

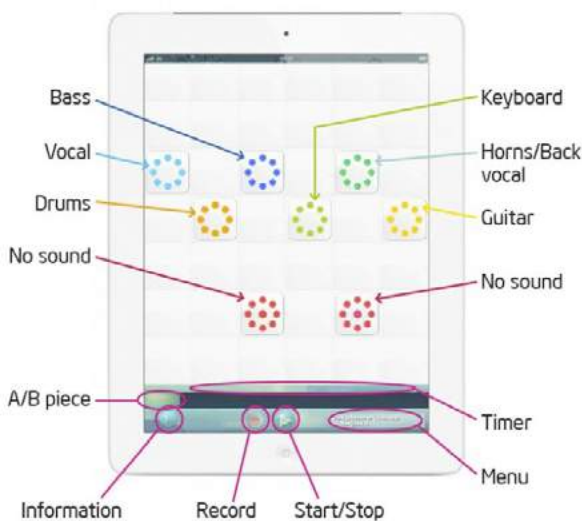


Figure 4. The assignment of coloured tiles to instruments in MusicTiles

By playing around with the modular tiles of a song, the user may discover the different sounds of the tiles, and become able to make personal remixes. Their personal remixes will depend on how, where, and when the users connect and disconnect the tiles, and how well the users train themselves to do this.

Not all tiles need to be connected. For instance, they can be put together in islands of two and two. The way the users choose to put the modular tiles together all depends on the way the users want to play with them to produce their favorite sound. Songs may use more or less tiles, depending on the number of instruments being used in the song, and some songs may use A, B, and C pieces.

The songs for the MusicTiles So album were remixed and produced by engaging a large team of contemporary musicians, DJs, and producers, and based on the original So album music composed, performed and produced by Peter Gabriel and Real World Studios.

In order to create intelligent sampling in MusicTiles to facilitate that any user can remix with the system, we developed a simple way for getting rid of a metronome. First of all, we made the music loops have a fixed length, and worked with the sample number of the loops. This sample number is updated during playback continuously.

Now, suppose that the drum tile is playing and we want to add the guitar tile. When the user connects the guitar tile to the drum tile, it is known that the drum tile is playing the “n” sample number, so the system simply updates the sample number variable inside the guitar loop to “n” to get them synchronized. This gives a simple way of making perfect remixes, though the cutting and editing into samples by the musicians, DJs, and producers is crucial, since it has to ensure that all samples can be combined in an aesthetically pleasing way.

Having created such a content sampling to allow anybody to remix their own versions of hit songs through interaction with the virtual tiles, it becomes possible also to explore physical sampling to allow users to remix in a physical form.

The MusicTiles MagicCubes were developed as a physical realization and extension to the MusicTiles app to push users into real life social situations, as showcased at Roskilde Festival 2013 [14] “Fig. 5”. The MusicTiles MagicCubes are the physical realization of the graphical representation of samples (i.e. virtual modular tiles) in the MusicTiles. They are realized as a set of robotic music cubes that allows people to interact with music as it is playing – people can activate or deactivate samples by turning the cubes around.



Figure 5. Implementation of the MusicTiles MagicCubes in a small form (left) and in a large form (right), used during the Roskilde Festival 2013.

The hardware of each MusicTiles MagicCube is a simple, sandwiched printed circuit board with a NordicRF processor with Bluetooth LE, two accelerometers, and a rechargeable Lithium-Polymer battery. Through the Bluetooth LE, the hardware is programmed to connect to the MusicTiles app running on an iPad. Upon rotation, a MagicCube sends its rotation (i.e. which side is turned upwards) to the app to control the music samples. As with the virtual tiles in the app, each physical MagicCube represents an instrument (a class of music samples), and the particular sample of that instrument is triggered based on the physical rotation of the MagicCube.

The MagicCubes can be implemented in different forms and material, as shown on Fig. 5, which facilitates the study of sampled granularity, affordance, transparency, and interaction of samples. This is of high importance when designing intelligent sampling, since the aim of such intelligent sampling is to allow anybody in an easy and intuitive way to remix the samples according to their individual taste.

For instance, giving the samples physicality and large, soft forms (e.g. “Fig. 5”, right) pushes the users into social interaction, since a user will only be able to control one instrument (sample set) himself, and will have to coordinate actions with other people to create/perform a remix. As a social playware, the system explores the cooperative creativity: the MagicCubes seamless push the users into social play dynamics resulting in the users interacting and cooperating in their play to create and perform their

collective new hit song versions. Here, the *playware* mediates social creativity.

Further, the physical instantiation of the music samples can make live remix performance much more attractive, since it provides a tool and concept for stage performance, which is often lacking in modern computer remixing. The physical interaction with the physical samples becomes a stage performance in itself, and like in group turntablists / group DJ performances, the coordination of samples activated between the band members becomes the art in creating the live performance.



Figure 6. The MusicTiles MagicCubes as used by Peter Gabriel during one of the concerts on the European Back-to-Front Tour 2013.

This is evident from the live performance with another form of the MagicCubes during concerts on the Peter Gabriel European Back-to-Front Tour 2013. Here, the MagicCubes took the form of large dices for the live remix performance of the song Games Without Frontiers, see “Fig. 6”. Each band member would play with the dice that represented musical samples of their own particular instrument. For instance, bass player Tony Levin would play with the dice with bass samples, and vocalist Peter Gabriel would play with the dice with vocal samples, and so on. The full song would emerge based on how the band members coordinated and controlled the samples together.

The MagicCubes as used in the Roskilde Festival and at the Peter Gabriel live concerts are clear examples on how samples extend from their traditional definition as content samples only, to become samples with both a physical and functional meaning, and where the remixing happens with the physical samples. We can extend this new kind of sampling even further to become regenerative remixing by exploring regenerative materials, as exemplified below.

V. REGENERATIVE REMIXING: S’n’S

S’n’S (Sound and sensors) explores regenerative remixing in the form of “eco-technological” tools entirely recyclable and remixable in their physical and digital components “Fig. 7”. It is a five-instrument system entirely made of reused cardboard packaging, embedding different sensors. In the spirit of regenerative remixing, the software

developed to control it, is open source, and realised by assembling and adapting open source code. The project addresses people who are not expert musicians, and may want to approach music in a bodily and engaging way, using gestures and imagination as driver of their performance. S’n’S is composed of tools inspired by electric guitar and bass, theremin, DJ console and didgeridoo.

The hardware components of the system include an Arduino platform, two ambient light sensors, two LilyPad accelerometers, a flex sensor, and an ultrasonic range finder. In order to make the system fully remixable and recyclable, the sensors are not soldered: they are connected to an Arduino Proto Shield through headers to allow re-use, hacking and adaptation at anytime.

All sensor data are sent via a serial transmission to the Pure Data software, an open source visual programming language that was used to filter the data coming from the Arduino and convert them into sounds. The software allows real time management of thresholds and volumes of the five instruments through a graphical user interface.

The purpose of S’n’S is to explore the remixing of material and software, so the interaction modalities and technological solutions are simply inspired by those used in music technology projects since the Brain Opera [18] and other music technology projects in the 1990’s, with *S’n’S’ guitar* and *bass* using accelerometers for shaking out the sound of the instrument (like the shaking of cubic I-BLOCKS [6]), *S’n’S Theremin* using ultrasound sensors for detecting hand movement above the instrument (similar to the Cylinders in the RoboMusic concerts [11]), *S’n’S DJ console* using rotation sensing (a simple optical encoder, like a tachometer for mobile robots), and the *S’n’S’ didgeridoo* a simple flex sensor to detect blow intensity (like Beat Bugs used flex sensors for music production [19]).

S’n’S’ Electric guitar and bass: Unlike a real electric guitar and bass, made of strings, pickups and amplifier, the S’n’S’ guitar and bass are invisible instruments that can be played wearing a sensorized sleeve around the hand and wrist, to simulate the “picking” of a guitarist. In order for the music to come to life, the player has to follow the rhythm of the backing track produced by the DJ console, pretending to play a real instrument “Fig. 7”.



Figure 7. Left: S’n’S’ guitar (white sleeve) and bass (black sleeve). Right: S’n’S Theremin.

Two triaxial accelerometers are sewed in the inner side of each sleeve allowing the software detects the up-down motion of the picking. If the frequency of the shaking is higher than 1Hz, the sound speed increases from turned off

to normal playback speed in a time frame of 1.5 sec. If the frequency is lower than 1Hz, the sound speed decreases from normal playing speed to turned off, returning the effect of a slow shutdown. In order to prevent asynchronies, the playback speeds of the electric guitar and bass change in real time, according to the rhythm played by the person using the DJ console.

S'n'S' Theremin: The third tool is inspired by the Theremin, the contactless electronic musical instrument invented in 1919 by Lev S. Termen. S'n'S' Theremin is composed of a series of cardboard tubes arranged on a vertical plane. In the current implementation, only one tube produces sound ("Fig. 7" right). By approaching and removing the hands on top of the tube (i.e. on top of the ultrasound sensor), it is possible to generate and modulate sound by height and intensity. The farther the hand is from the top of the tube, the deeper is the sound. The closer is the hand to the top of the tube, the more acute is the sound. In this way, it is possible to play different scales of notes, generated by a sine wave generator.

S'n'S' DJ console is inspired by DJ turntables. The console can be played by rotating two recycled CD-ROMs placed on a cardboard plate. The disk on the left allows scratching a running track (a high-speed playback of a vocal sample to reproduce the "scratch" effect), while the right one can be used to increase or decrease the speed of a second sample. The produced speed also determines the rhythm of the electric guitar and electric bass ("Fig. 8", left).

The console works as a simple optical encoder, like a tachometer for mobile robots, integrating two ambient light sensors placed inside two cardboard disks mounting on top of the CD-ROMs. A little black strip layer is applied to the inner transparent parts of the CD-ROMs, to detect the rotation speed (either in small up-down angle for scratching or full circles for rhythm speed).



Figure 7: Left: S'n'S' DJ console. Right: S'n'S' Didgeridoo

S'n'S' didgeridoo is inspired by the ancient wind instrument of the Australian Aborigines. The S'n'S' didgeridoo is played by blowing air inside a cardboard tube ("Fig. 8", right). The S'n'S' didgeridoo embeds a simple flex sensor allowing the player to produce notes by varying the blow intensity. To reach an adequate variation of the blow,

the sensor is mounted on a cardboard disk with a hole. The disk is in turn mounted inside the cardboard tube, so that the player can blow inside. When the sensor changes its angle, the related modification of resistance is detected too. This variation is calculated by the software that converts the stream of values to a scale of notes ranging from C to B.

The sound produced by the instrument is very peculiar since it consists of a series of wave signals repeated according to a delay by a specific BPM (beats per minute) value that is synchronised to the sounds of the DJ console.

In S'n'S' the modularity consists of assembling software and hardware components, not only to create new musical pieces, but also to invent new musical instruments and expressive modalities of playing them.

The regenerative remixing factor in S'n'S' is a fundamental enabler of learning. When playing guitar and bass, the performer has to catch the rhythm of the DJ console and follow it, by using his/her gestures. This allows for an expressive performance related to the expressivity of the gesture. When playing theremin and didgeridoo, the performer has to catch also the notes that harmonically suit the samples of guitar and bass. In this way, the naive player gets familiar with basic musical principles of playing together. Playing S'n'S' is challenging, but if you make errors, you can learn together how to overcome them to produce a pleasant sound.

VI. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

As explained above, the vision of remixing playware has a number of distinguished features: *user-configurable modularity*, which allows the user to interact and manipulate with samples, *user-guided behavior-based system*, which allows music compositions emerge from the way performer interacts with the instruments that provide the primitive behaviours; *intelligent sampling*, that is ability of creating samples that allow anybody to remix with the samples ensuring an engaging outcome.

The vision of remixing can be pushed toward regenerative remixed materials as well as toward new activities and application domains. For example, tiles have been remixed for rehabilitation purposes, I-Blocks have been remixed for educational purposes and for hospital treatment of handicapped children in Africa, and S'n'S' has been used in the treatment of developmental dyslexia, a learning impairment that arises spontaneously during the individual growth, causing lack or reduction of specific linguistic ability. In these cases, new forms of rehabilitation are necessary to stimulate or compensate those functions that are hardly able to develop autonomously. For example, providing only lists of words and grammar rules may be not sufficient to re-educate the children and motivate them during the therapy. The adopted teaching method should be creative, since dyslexics learners use the right side of the brain, the creative one, more than the non-dyslexics [1].

Multisensory approaches based on the use of the body in playful activities can be effective work-keys, when addressed to dyslexic children. In collaboration with a rehabilitation

centre for disabled children in Siena, Italy, we will start an experiment where the DJ console, will be used to support the recognition and discrimination of words, in imitation games, combining the rotary movement on the disk, with the reproduction of words at a pace of increasing difficulty.

Already, it has been verified in children's hospitals such as the H.C. Andersen children's hospital in Odense, Denmark that remixing playware provides an easy way for staff and patients to remix physical interactive games, soundscapes, and different material samples in multi-sensory rooms [6]. In another case, it was used by autistic children for remixing in their therapy sessions [4].

The intelligent sampling is the corner stone for creating such possibilities for anybody to remix playware. This was further highlighted with the MusicTiles, which in a 25-years celebration of the iconic So album by Peter Gabriel created a novel music 2.0 experience to give the music into the hands of the music fans. Through intelligent sampling, the So album for the MusicTiles app took the songs of the original So album into a whole new form allowing all music fans to make their own versions of the famous Peter Gabriel songs such as Sledgehammer and Big Time. And by facilitating physical remixing with the physical MagicCubes, social interaction was mediated through intelligent sampling.

In future, we will investigate remixing playware further in order to develop insight into intelligent sampling of both physicality and content. There are challenging opportunities to define alternative sample granularity, autonomy, connectivity, affordance, transparency, and interaction.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank colleagues in their respective research groups, Center for Playware at Technical University of Denmark and Department of Social Political Cognitive Science at University of Siena. Also, we would like to thank Peter Gabriel, Real World Studios, Funkstar De Luxe, K. Falkenberg, T. Nissen, S. Balsner, T. Knak, F. Thaae, S. Luth, M. Leggieri, L. Pagliarini, K. Johansen, and Danmarks Rockmuseum for their collaboration on MusicTiles. Their contributions were essential for allowing the authors to form the ideas and principles presented here.

REFERENCES

- [1] J.R. Birsch, "Multisensory teaching of basic language skills." Baltimore MD. Brookes Publishing, 2005.
- [2] R.A. Brooks, "A robust layered control system for a mobile robot." IEEE Journal of Robotics and Automation, 2(1), 1986, pp. 14-23.
- [3] K. Falkenberg, N.K. Bærndsen, J. Nielsen, C. Jessen, and H. H. Lund, "RoboMusic with Modular Playware." Artificial Life and Robotics Journal, Springer-Verlag, 2011.
- [4] H. H. Lund, "Modular Playware as a Playful Diagnosis Tool for Autistic Children." In Proceedings of IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, IEEE Press, , 2009, pp. 899-904.
- [5] H. H. Lund, "Lessons Learned in Designing User-configurable Modular Robotics." In Proceedings of 2nd International Conference on Robot Intelligence and Applications. Springer, 2013.
- [6] H. H. Lund, A. Henningsen, and R. Nielsen, "Modular robotic system as multisensory room in children's hospital." In Proceedings of 14th International Symposium on Artificial Life and Robotics (ISAROB), 2009.
- [7] H. H. Lund, and C. Jessen, "Playware - Intelligent technology for children's play." Technical Report TR-2005-1, June, Maersk Institute, University of Southern Denmark, 2005.
- [8] H. H. Lund, T. Klitbo, and C. Jessen, "Playware Technology for Physically Activating Play," Artificial Life and Robotics Journal, 9:4, 2005, pp. 165-174.
- [9] H. H. Lund, P. Marti, "Physical and Conceptual Constructions in Advanced Learning Environments," Interaction Studies 5:2, 2004, pp. 269-299.
- [10] H. H. Lund, P. Marti, "Designing Modular Robotic Playware." In 18th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (Ro-Man 2009), IEEE Press, 2009, pp. 115-121.
- [11] H. H. Lund, M. Ottesen, "RoboMusic - A Behavior-Based Approach," Artificial Life and Robotics Journal, 12: 1-2, 2008, pp. 18-23.
- [12] H. H. Lund, T. Thorsteinsson, "Social playware for mediating teleplay interaction over distance." International Journal Artificial Life and Robotics, 16:4, 2012, pp. 435-440.
- [13] S. Murata, E. Yoshida, A. Kamimura, H. Kurokawa, K. Tomita, and S. Kokaji, "M-TRAN: Self-reconfigurable modular robotic system. Mechatronics," IEEE/ASME Transactions on, 7(4), 2002, pp. 431-441.
- [14] MusicTiles MagicCubes (checked 13/2/2014): <http://www.youtube.com/user/HenrikHautopLund>
- [15] E. Navas, "Regressive and reflexive mashups in sampling culture." In Mashup Culture. Springer Vienna, , 2010, pp. 157-177.
- [16] E. H. Ostergaard, K. Kassow, R. Beck, and H. H. Lund, "Design of the ATRON lattice-based self-reconfigurable robot." Autonomous Robots 21(2), pp. 165-183, 2006.
- [17] L. Pagliarini, and H. H. Lund, "The Polymorphic Intelligence," Proceedings of First European Workshop on Artificial Life and Robotics, Vienna University of Technology, 2007, pp. 123-131.
- [18] J. A. Paradiso, "The brain opera technology: New instruments and gestural sensors for musical interaction and performance." Journal of New Music Research, 28(2), pp.130-149, 1999.
- [19] Weinberg, G., Aimi, R., & Jennings, K. "The Beatbug network: a rhythmic system for interdependent group collaboration." In Proceedings of the 2002 conference on New interfaces for musical expression National University of Singapore, pp. 1-6, 2002.

Paper 5

Tittarelli, M., Marti, P., Peppoloni, D. (2014). Rapping Dyslexia: Learning Rhythm, Rhyme and Flow in Dyslexic Children. In *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, NordiCHI2014, Helsinki, Finland, October 2014.

Il paper descrive l'utilizzo e il re-design di uno degli strumenti del sistema Sound and Sensors (la DjConsole) come supporto nel trattamento della dislessia. Sono riportati i processi di definizione dell'attività (strutturata attraverso tre cicli iterativi di prototipazione iterativa) e i risultati e le metodologie adottate per la valutazione della sperimentazione condotta. Nel paper, coadiuvati da Patrizia Marti, ci siamo occupati della descrizione del re-design della DjConsole e del prototipo *wearable* Clap, dell'ideazione e della strutturazione dell'attività (basata sul cantato rap), della raccolta e della analisi dei dati ottenuti nella sperimentazione. La Dott.ssa Diana Peppoloni si è occupata di definire le implicazioni teoriche sottostanti all'applicazione degli strumenti proposti a soggetti con dislessia già certificata, evidenziando i possibili vantaggi che questi ultimi avrebbero tratto dalla somministrazione di una simile metodologia compensatoria e contribuendo alla stesura del protocollo sperimentale.

Michele Tittarelli

University of Siena
Via Roma 56
53100 Siena, Italy
michelearte@gmail.com

Patrizia Marti

University of Siena and
Eindhoven University of Technology
Via Roma 56
53100 Siena, Italy
marti@unisi.it

Diana Peppoloni

University for Foreigners of Siena
Piazza Carlo Rosselli
53100 Siena, Italy
dianapeppoloni@gmail.com

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the Owner/Author.

Copyright is held by the owner/author(s).

NordCHI '14, Oct 26-30 2014, Helsinki, Finland ACM 978-1-4503-2542-4/14/10.
<http://dx.doi.org/10.1145/2639189.2670181>

Rapping Dyslexia: Learning Rhythm, Rhyme and Flow in Dyslexic Children

Abstract

The paper presents a design case that draws inspiration from rap music as a way to tell stories rhythmically, with simple instruments for accompaniment. Rhythm, rhymes and flow are key features of rap music. In this study, we attempted to apply rap principles and dynamics to a very specific field of application: the treatment of dyslexia. Our hypothesis is that fast, fun, bodily music could compensate the cognitive treatment usually used in dyslexia therapy, and avoid the need for children to engage in abstract cognitive exercises that are often frustrating and result in a lack of motivation. The paper describes the incremental prototyping process carried out to design the activity and the musical instruments used to experiment with rap music in therapeutic sessions. In particular, we designed a DJ console and a beat amplifier made of reused cardboard, wearable sensors and open-source software. Rapid prototyping and rapid re-adaptation of the system's material and technological components allowed us not only to fine-tune the tools but also to generate new knowledge about the behaviour of people with dyslexia and raise new questions for study.

Author Keywords

Rap music, rhythm, bodily-engagement, prototyping, dyslexia, fun, motivation, research-through-design.



Figure 1: The *Dj Console* made of reused cardboard.



Figure 2: Scott and Chiara playing with the *Dj Console*.

ACM Classification Keywords

H.5.m. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): Miscellaneous.

Introduction

In this paper we present a design case that focuses on incremental prototyping to facilitate the creation of fun and playful experiences in children with dyslexia, as a complement to traditional cognitive therapy.

The case is inspired by rap music. Rap is based on spoken rhyming lyrics. It has a set of key features that make it an original means of research in dyslexia: flow, breathing control, delivery, and collaborative live performances [4]. Flow is particularly important in rapping. It is the rhythmic structure that arises from the interaction between words and the musical rhythms of those words. In order to obtain a good flow, it is important to master the rhymes, how many fall in each bar, how many syllables they contain, where they fall in the line, whether they are repeated in the same order and so on. Staying on the beat is central to rap's flow. To summarise, rap music requires fluency (flow) skills, breath control to correctly pronounce words, and ability to rhyme and maintain the rhythm while keeping the right time. These skills are limited in subjects with dyslexia. Therefore, the hypothesis of our study is that a playful approach based on rap music can stimulate children with dyslexia in improving linguistic skills. This approach could compensate the cognitive treatment usually used in dyslexia therapy and motivate children during the therapy, avoiding the need for frustrating abstract cognitive exercises.

The design case was developed in the context of research-through-design [12]. This kind of research is knowledge-directed. It must produce new knowledge

through testing and concretely acting in the context of application. Furthermore, it must be pursued through action in and on the real world, in all its complexity. Following this approach, we focused on constructing and experimenting with experienceable prototypes in a therapeutic context, reflected on the experimental results achieved and developed a set of research questions that guided development of the next iteration of prototypes. We provide theoretical background for the study below, and then introduce the designed music tools, highlighting material and technological components that are open to modification and re-use. The design process is then described, illustrating the experimental activity, the incremental prototyping and the results achieved.

Theoretical background

The neural dysfunctions underlying dyslexia are still largely unknown, despite decades of research. Dyslexia has been identified as a problem with phonological processing, although other difficulties like those in visual processing have been retraced too. Dyslexic subjects might be affected by more general auditory/perceptive dysfunctions; as a matter of facts, it has been pointed out that these individuals show difficulty processing temporal aspects of the speech signal, such as rapid acoustic transitions or tone-order reversals [10]. Individuals affected by developmental dyslexia have great difficulty discriminating duration, rhythm, rapid acoustic changes and so on; this kind of problem gives an empirical basis to the hypothesis of bad temporal elaboration [8, 10]. If we consider that language, just like music, is a sequence of sounds organized in time, and that perceptual abilities in music correlate with phonological skills and reading skills, it is possible to conjecture that a rehabilitation treatment



Figure 3: Early (up) and final (down) prototype of the *Dj Console*.



Figure 4: The LED lights up when the playback speed of the music is increased or decreased by rotating the CD-ROM.

based on music could benefit reading skills. It has been demonstrated that musical training might improve many aspects of auditory processing aside from cognitive, literacy and language skills [1, 8, 11]. The main idea behind our research is that by using compensatory methods, such as the rhythmic and musical ones, it is possible to bypass the linguistic difficulties characterizing dyslexic subjects. Music leads to activation of multilevel connections: spatial, relational and interactional, gestural, communicative, emotional and, of course, linguistic. This holistic involvement of subjects can produce deep long-term acquisition of the target language rather than provisory, mechanical, partial learning of it. Dyslexics are kinaesthetic learners, so hands-on activities work best for them [2]. Kinaesthetic subjects learn best when they are moving; if they are using their hands and bodies in learning, their attention will be focused precisely on the learning they are doing.

Different technologies and HCI projects have been developed to assist children with dyslexia [9]. Some of them aim to improve children's ability to produce rhythmic patterns to support the early development stages of reading and comprehension [6]. The present study focusing on rap music represents a novel low cost approach that aims to provide dyslexic learners with mechanisms for linguistic and communicative knowledge acquisition, supporting their creativity and self-expression.

Incremental prototyping

In the early stages of the design process, we developed the *DJ Console* (Figure 1), an "eco-technological" instrument made of reused cardboard packaging and open-source software used to control it (Arduino and

Pure Data). The open source software, combined with cardboard forms, allowed rapid prototyping and fine-tuning of the tool's material and software components [7]. We decided to develop new instruments for this experiment for two main reasons. The first is that existing off-the-shelf tools such as *VirtualDJ* are still too complex for naive users and involve very limited use of bodily movements, focusing on cognitive activity instead. The second reason is that we needed a tool that would be easy to modify and fine tune in response to the characteristics of individual users. Existing technologies do not meet these requirements.

For this reason, we designed our own *DJ console*, consulting experts and therapists, who positively judged the ease of use, capability to modify the speed of the music and involvement of the body in maintaining the rhythm. The *DJ Console* is played by rotating two reused CD-ROMs placed on a cardboard plate (Figure 2). The disk on the left permits scratching of a running track (a high-speed playback of a vocal sample reproduces the "scratch" effect), while the right one is used to increase or decrease the playback speed of a second sample. The console works as a simple optical encoder (Figure 3), like a tachometer for mobile robots, integrating two ambient light sensors placed inside two cardboard circles supporting the CD-ROMs. A tiny black strip is applied to the inner transparent parts of the CD-ROMs to detect rotation speed.

Experimental activity and data analysis: three research-through-design cycles

The experimental activity, conducted over a period of 1 month at the F.A.R.E. Centre in Perugia (Italy), a diagnosis and rehabilitation institution for people with linguistic impairments, was structured in 9 30-minute

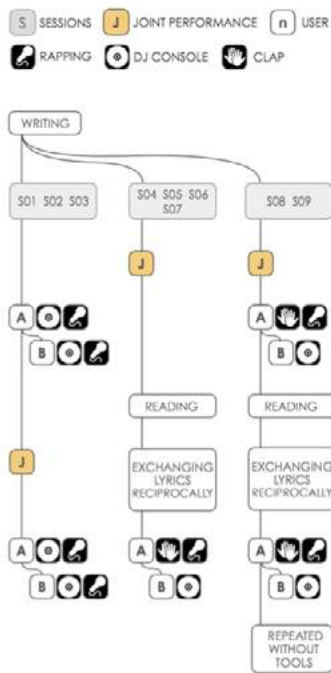


Figure 5: Incremental prototyping with three iterative cycles.



Figure 6: The Clap.

sessions. It involved two adolescent subjects, Chiara and Scott, and saw the constant presence of an expert/therapist and two experimenters. At the beginning and the end of the experiment, the subjects involved in the study performed the verbal and non-verbal repetition test [3, 5], with the aim of checking their initial linguistic competence level and their possible improvement after the experimental activities. We started out by coming up with a list of 50 words belonging to 5 different semantic fields (friendship, school, sports, music, family) containing phoneme clusters that are usually difficult for dyslexic subjects to discriminate (e.g.: p-b, b-d, a-e, m-n, f-v, t-d). At the beginning of each session, the subjects were asked to write a short song text using 5 words taken from this list; they then had to perform different tasks with it, such as reading and rapping the lyric with or without use of the *DJ Console* and other tools such as a microphone. In evaluating the behaviour of the participants with respect to the proposed activities and the tools used, we modified the experimental protocol of the sessions, conducting three research-through-design cycles (Figure 5). Analysis of the results obtained from the various experimental cycles focused on Scott, since Chiara could not attend all the sessions. When she was not present, she was replaced by a volunteer.

In the first iterative cycle (sessions 1-3), we designed an activity based on use of the *DJ Console*. The “rappers” had to sing their own song, adjusting the playback speed; their main task was to follow the beat while rapping. The activity was performed first individually, then in a collaborative way, passing each other the microphone. Both Scott and Chiara showed difficulty creating the desired rhythm using the *Dj Console*. They adopted compensatory strategies with

the aim of hiding their linguistic lacks. In session 2, Scott made two mistakes in writing while he made one mistake performing the song (Figure 7). A high number of errors in writing is typical in developmental dyslexia. What is surprising is that he made fewer errors in reading. In fact, it was evident from the video analysis of the session that he almost never read the text of his song, because he recalled it from memory. By implementing this strategy, he compensated his for limited reading skills. Once we noticed this phenomenon, we decided to start a second research-through-design cycle, defining a different activity and re-designing the instruments, including both hardware and software components. We aimed to let the disorder emerge together with its typical manifestations so as to intervene in the most appropriate way. The *DJ Console* was modified so that the child could speed up the music by rotating the disk clockwise and slow it down by rotating the disk anticlockwise. We replaced the old system, in which rotation speed was directly mapped to playback speed, with a new one which increased or decreased the playback speed of 3 BPM (beats per minute) depending on the direction of rotation. We also reinforced visual feedback, adding two white LEDs on top of the disk that lit up when the child "scratched" the song or changed the playback speed (Figure 4). This was useful for controlling rotation speed. Furthermore, we introduced a new instrument called "*Clap*" with the aim of reinforcing bodily involvement. *Clap* is a beat amplifier that allows the user to mark the rhythm by clapping his or her hands (Figure 6). The volume of sound generated by the *Clap* increases if the beat is correct; if not, it decreases. *Clap* is a "touch sensitive" glove composed of two aluminum foils sewed onto an elastic fabric. The two parts get in connection using the conductivity and resistivity of the body. We also

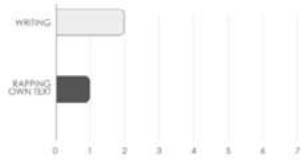


Figure 7: Session 2: errors.

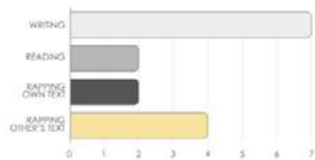


Figure 8: Session 4: errors.



Figure 9: Session 6: errors.

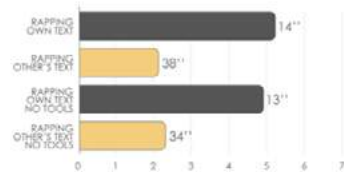


Figure 10: Session 9: fluency.

changed the activity, asking the subjects to read the song written by the other participant. In this way, the compensatory strategy of memorizing their own lyric to hide reading difficulties was eliminated.

These variations were introduced from session 4 to session 7. In session 4, during performance of the song written by the other participant, Scott made 4 errors, while he made only 2 mistakes in singing his own text (Figure 8). The increasing number of mistakes in reading is evidence of the disorder and the impossibility for the dyslexic of hiding it using compensatory strategies. In session 6, the activity proposed to the subjects still remained the same, but the results in performance were quite different (Figure 9). In this case, Scott showed significant improvement, not committing any errors in singing his companion's song. According to the initial hypothesis of the research, this improvement is reasonably attributable to repeated rhythmic, musical and gestural support, which allows dyslexic subjects to approach the reading task from a holistic point of view.

Reflecting on these observations, we decided to perform a third iterative cycle, to appreciate the efficacy of the tools, comparing performances executed with and without the support of these instruments. In sessions 8 and 9, we asked the subjects to write a second song and perform it without using rhythmic support (*DJ console, Clap*). The playback music speed was fixed at 70 BPM.

In data analysis of this phase, in addition to error analysis (accuracy), we also analysed fluency. Fluency is the measure of the rapidity with which the subjects pronounce a certain number of syllables in a given temporal space, measured in seconds (syll./sec.). We normalized this ratio by averaging the BPM of the playback track used in the performance. As is apparent

from Figure 10, Scott took 14 sec. to pronounce 5.23 syllables using the instruments, while without the support of the tool he took 13 sec. to read 4.93 syllables of his second written text. This slight improvement supports use of holistic therapeutic protocols for treating developmental dyslexia. A holistic approach minimizes the linguistic difficulties of the affected subjects, highlighting their strengths (singing, bodily performance).

Another positive outcome of the study was the comparison of the verbal and non-verbal repetition test. In the verbal pre-test phase, Scott pronounced 2.61 syll./sec. (-1.54 ds), making 10 errors (<5th percentile), while in the post-test he pronounced 2.90 syll./sec. (-1.2 ds), making 5 errors (<10th percentile). In the non-verbal pre-test, he pronounced 1.74 syll./sec. (-0.80 ds), making 10 errors (<5th percentile), while in the post-test he pronounced 1.87 syll./sec. (-0.61 ds), making 12 errors (<5th percentile). These results (Table 1) are meaningful in the verbal test since there is an improvement of 50% in the child's performance. Considering the type of activity performed by the subjects, the non-verbal test should not be considered meaningful.

Concluding reflections

The experimental results presented in the paper are based on a single subject, and therefore are not valid from a therapeutic viewpoint, although they do demonstrate the potential of the holistic approach for supporting processing of linguistic input by the subject involved. In order to generalize these results to reference population, it will be necessary to experiment with a larger sample.

Nevertheless, this study does open up new prospects

BEFORE	AFTER
VERBAL	VERBAL
2.61 syll./sec. (-1.54 ds) 10 errors (<5 th percentile)	2.90 syll./sec. (-1.2 ds) 5 errors (<10 th percentile)
NON-VERBAL	NON-VERBAL
1.74 syll./sec. (-0.80 ds) 10 errors (<5 th percentile)	1.87 syll./sec. (-0.61 ds) 12 errors (<5 th percentile)

Table 1. Comparison of the verbal and non-verbal repetition test before and after the experimental activity.

for the study of the role of music and bodily motion in language learning processes. The tenet of our design case is to put the user experience at the forefront of the design activity by materializing research hypotheses and experimenting with them at different levels: to refine solutions but also to advance in theoretical knowledge. Indeed, from the first research-through-design cycle we learned that a successful performance does not necessarily mean that the problem does not exist or it is very limited. Incremental prototyping and evaluation let the problem emerge so that a more suitable solution could be adopted. The

References

- [1] Chan, A.S., Ho, Y.C., Cheung, M.C. *Music training improves verbal memory. Nature*, 396, 128 (1998).
- [2] Dennison G. E. & Dennison, P. E. *Educational Kinesiology Brain Organisation Profiles. Teachers Training Manual*, 3rd Edition. California, Edu-Kinesthetics Inc., 2000.
- [3] Dollaghan, C. and Campbell, T. F. Nonword repetition and child language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41 (1998), 1136–1146.
- [4] Edwards, P. *How to Rap: The Art and Science of the Hip-Hop MC*. Chicago Review Press, Chicago, USA, 2009.
- [5] Gathercole, S. E., Baddeley, A. D. *The Children's Test of Nonword Repetition*. The Psychological Corporation, London, UK, 1996.
- [6] Jouhtimäki, J., Kitunen, S., Plaisted, M., Rainò, P., *The Brave Little Troll: a rhythmic game for deaf and hard of hearing children*. In Artur Lugmayr, Heljä Franssila, Olli Sotamaa, Pertti Näränen, and Jukka Vanhala (Eds.), *MindTrek*, 212, ACM, 2009.

second research-through-design cycle highlighted the experience was reinforced by a richer aural feedback mapped with bodily interaction. The third cycle confirmed the potential of the approach.

Acknowledgements

We sincerely thank the children and families who participated in the project. Special thanks to F.A.R.E. rehabilitation centre in Perugia for hosting the activity, and to the therapists who shared their thoughts and ideas with us. We also thank Andrea Sabbatini, who collaborated in data collection and analysis.

[7] Lund, H.H., Marti, P., Tittarelli, M., Remixing Playware. In *Proc. of The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Edinburgh, Scotland, UK August (2014).

[8] Overy, K. Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999 (2003), 497-505.

[9] Pandey S., Srivastava S., Tiblo., A tangible learning aid for children with dyslexia. In *Proc. Second International Conference on Creativity and Innovation in Design - Desire '11*, Eindhoven, Netherlands, 2011.

[10] Tallal, P. Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities. *Children. Brain and Language*, 9, 2 (1980), 182-198.

[11] Trainor, L.J., Shahin, A., Roberts, L.E. Effects of musical training on the auditory cortex in children. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999 (2003), 506-513.

[12] Zimmerman, J., Forlizzi, J. and Evenson, S. Research through design as a method for interaction design research in HCI. In *Proc. SIGCHI 2007*, ACM (2007), 493-502.

Riflessioni e conclusioni

I Design case presentati nella tesi sono il risultato dell'attività di ricerca che abbiamo svolto dal 2012 al 2015. Abbiamo pensato di inserire, in questa nostra trattazione, alcuni degli articoli che sono stati pubblicati in atti di conferenze internazionali ACM e IEEE, in maniera da raccontare e far emergere il nostro contributo nella ricerca nell'ambito delle TUIs.

Durante questi tre anni abbiamo avuto l'opportunità di confrontarci con diverse metodologie di interazione e di realizzazione dei prototipi. Abbiamo potuto osservare, sperimentare e comprendere quelle soluzioni di design che la ricerca propone cercando di applicare i paradigmi che riteniamo più validi nei nostri progetti.

Nei lavori presentati le TUIs sono state proposte in due diversi contesti di ricerca: il Design case 1, che si inserisce infatti all'interno di un progetto europeo (Accompany), e il Design case 2, che è un'esplorazione interna al Laboratorio di Robotica e Tecnologie per l'Apprendimento (Unisi) nell'ambito del quale abbiamo avuto l'opportunità di lavorare in questi tre anni.

Nel primo caso abbiamo utilizzato materiali e tecniche innovative (processi di produzione additiva), mentre nel secondo abbiamo proposto un *remix* di materiali di riuso (cartone e stoffa). Eppure i due Design case sono legati da un filo comune: quel filo che abbiamo cercato di tessere per costruire una relazione qualitativa tra corpo e digitale attraverso le TUIs. Per quanto riguarda il Design case 1 (p. 42), la ricerca svolta ci ha permesso di ottenere risultati molto positivi che sono stati confermati sia dalle valutazioni che abbiamo condotto (Marti et al., 2013; Marti et al., 2015) che dalla review finale della Commissione Europea per il Work Package 2 del progetto Accompany.

Le ipotesi riguardanti la possibilità di riprodurre una relazione di tipo empatico tra uomo e robot, attraverso l'utilizzo di una GUI, sono state confermate dalla valutazione condotta (Paper 2, p. 65) su un campione di 60 soggetti. I dati hanno dimostrato che l'utilizzo delle "maschere empatiche" ha avuto un impatto molto positivo riguardo la capacità dei soggetti nell'assumere la prospettiva dell'altro, sentendosi quindi coinvolti con gli "stati emotivi" del robot (p. 69).

Tutto ciò conferma la qualità di un approccio progettuale basato sul disegno. La comprensione dei video-scenari proposti, infatti, è stata netta in quelle soluzioni grafiche che partivano dal "disegno" di un'espressione, contrariamente a quelle basate sull'utilizzo di "filtri grafici" realizzati digitalmente (Marti et al., 2013).

Successive valutazioni hanno dimostrato la qualità delle "maschere espressive" ottenendo positivi riscontri (Iacono et al., 2014) anche e soprattutto sul piano qualitativo.

Questi esiti ci convincono sempre di più che un approccio "tangibile" alla progettazione ed al disegno (schizzi, disegni a mano libera) sia molto più efficace rispetto a un approccio basato sull'uso di software per la computer grafica.

Crediamo infatti che, una progettazione basata sull'uso del disegno a mano libera, permetta di far risaltare idee, impressioni, metodologie realizzative in maniera molto più veloce e significativa rispetto agli "strumenti digitali" e che perciò debba essere il punto di partenza essenziale di ogni progettazione qualitativa. Il disegno a mano consente di creare un legame fra le nostre abilità cognitive e quelle percettivo-motorie che interpreta in pieno il paradigma di interazione continua: possiamo infatti enfatizzare un particolare segno calcando sul foglio in misura maggiore o minore, esprimendo così dei tratti che risultano espressivi e significativi. Questo non avviene quando si progetta partendo dai software per la computer grafica perché il loro uso implica l'instaurarsi di "processi" che risultano estremamente vincolati alle caratteristiche e alle funzionalità di ogni programma.

Con ciò non si intende negare che l'uso di questi software non si sia rivelato importante per il nostro lavoro; ma vi ci siamo rivolti solo in una fase successiva. In questo senso abbiamo operato partendo dal disegno a mano libera (atomo) per poi, attraverso l'uso di software come SolidWorks, After Effects, Illustrator etc., trasporre l'idea progettuale nel "bit".

Lo stesso approccio è stato utilizzato nel redesign della cover Squeeze Me (p. 75).

Quest'ultima rappresenta una forte innovazione nell'ambito delle TUIs destinate al campo applicativo della comunicazione (Marti et al., 2014). Precedenti esperienze (Kildal et al., 2012) avevano mostrato le qualità d'interazione proprie di uno smartphone dalla struttura flessibile, poiché consente allo user di interagire con le sue funzioni deformando il *device* stesso ma, dati alcuni limiti applicativi, abbiamo realizzato una cover interattiva per tablet che, opportunamente ridimensionata, può essere utilizzata su qualsiasi modello di tablet. Non è infatti il *device* stesso che possiede particolari caratteristiche o conformazioni, ma è "l'involucro" che lo riveste che permette di concretizzare un'interazione ricca ed espressiva. Ogni persona ha un diverso modo di "stringere" la cover, di relazionare il proprio corpo con il digitale, attraverso l'intensità della stretta che applica su di essa.

Per enfatizzare il concetto di feedforward (Wensveen et al., 2004) nel design della cover ci siamo ispirati alla forma degli arti inferiori. Le ossa sono uno dei primi oggetti che l'uomo ha utilizzato come "strumento"; abbiamo quindi proceduto riproponendo, in un oggetto aumentato, quelle *affordances* (Gibson, 1979) che l'uomo aveva "trovato" in questi particolari elementi dell'ambiente. Attraverso lo studio dell'anatomia infatti, siamo riusciti a proporre il design di una TUI ergonomica che "suggerisce" allo user il modo in cui può essere manipolata e che, nell'ambito della nostra ricerca nel design dell'interazione, crea un *continuum* formale ed estetico con esperienze precedenti (Trotto et al., 2012).

Le innovazioni che abbiamo proposto nella cover Squeeze Me non consistono solo nel suo particolare design: per creare un *mapping* "perfetto" fra la pressione esercitata dalle mani dello user e la risposta del sistema, siamo ricorsi alla realizzazione di sensori di forza resistivi realizzati su misura per la cover. Questi sensori sono stati ottenuti sovrapponendo un layer di Velostat® ad uno in polietilene espanso, entrambi inseriti tra due fogli plastificati in alluminio. Questa soluzione ci ha permesso di mantenere uno spessore dei sensori inferiore al millimetro e di ridurre il loro costo di circa il 75% rispetto a quelli reperibili in commercio.

Per giungere a questa soluzione abbiamo operato con una modalità *trial-and-error* che ci ha permesso di scoprire vantaggi e svantaggi di questa particolare metodologia realizzativa. A differenza dei sensori industriali, infatti, l'approccio e i materiali utilizzati ci hanno consentito di ottenere dei sensori che possono essere realizzati in qualsiasi forma e dimensione.

Questo aspetto, dal nostro punto di vista, rappresenta un fattore essenziale quando si realizza una TUI perché la possibilità di "costruire" dei sensori ad hoc libera da vincoli riguardo al numero e al posizionamento dei sensori al suo "interno".

Questa soluzione interpreta l'approccio che abbiamo adottato nella realizzazione dei prototipi, dove abbiamo agito da "artigiani digitali" combinando alle tecnologie il "saper fare" delle nostre mani. Abbiamo infatti agito da progettisti "prototipatori" sperimentando tutte quelle soluzioni che ci avrebbero permesso di ottenere dei risultati funzionali e qualitativi.

In questo senso crediamo fermamente che l'innovazione sia soprattutto nel concetto che un oggetto di design riesce a veicolare e non solo nel mezzo che si adotta per giungere ad un risultato.

Il nostro lavoro attinge fortemente alla "materia". I materiali, nella nostra ricerca, ci hanno consentito di concretizzare quei paradigmi che, alla luce dello stato dell'arte, erano stati messi in atto attraverso una serie di complessi sistemi di elaborazione (Ishii et al., 2012).

La cover, realizzata mediante innovativi processi di produzione additiva (stampante 3D di tipo DLP), è composta da una parte morbida ed una rigida che contiene al suo interno tutte le componenti elettroniche (p. 76). La parte morbida è composta da strati di resina sinte-

tica malleabile che ci hanno permesso di concretizzare un feedback tattile perfettamente mappato al dato digitale. Lo user, in questo modo, può “controllare” il dato digitale non solo attraverso la rappresentazione sul tablet, ma anche attraverso la risposta meccanica della cover stessa.

Abbiamo così definito le interfacce tangibili come degli oggetti aumentati che permettono allo user, nello stesso tempo e nello stesso spazio, di “commisurare” le sue azioni alle risposte fisiche e digitali di un sistema. Con il Design case 1 (p. 42) abbiamo cercato di dar vita a questa nostra definizione: lo user, infatti, può controllare in maniera molto precisa le sue azioni sia in relazione alla “risposta” della GUI che alla deformazione e alla resistenza offerta dalla cover.

Pensiamo che non sia un caso che la cover sia stata apprezzata per la sua piacevolezza (Marti et al., 2015), pur essendo stata messa a confronto con quelle *touch gestures* (*pinch* e *slide*) con cui siamo abituati a interagire con i dispositivi *mobile*. In questo caso il materiale utilizzato risulta “caldo” e piacevole al contatto con il corpo, a dispetto della “fredda” rigidità degli schermi *touchscreen*.

L’utilizzo delle tecniche di prototipazione rapida presenta anche degli svantaggi: in particolare il processo di stampa “a strati” rende i modelli relativamente fragili in quelle sezioni parallele rispetto al piano di stampa che sono contraddistinte da un esiguo spessore. Un processo di redesign del modello 3D può consentire di apportare efficaci modifiche nei punti più sollecitati, ma non potrà mai rendere la struttura del modello finale compatta e omogenea.

In tal senso, stiamo conducendo delle sperimentazioni su alcuni materiali “morbidi” che ci permetterebbero di migliorare ulteriormente le *affordances* della cover, mettendo in atto metodologie di realizzazione per “stampaggio a colata”. Abbiamo infatti individuato nelle gomme siliconiche e nei poliuretani elastici stampabili ad iniezione i materiali che ci consentiranno di realizzare una cover più morbida e piacevole al tatto. L’ipotesi di questa nuova ricerca è di sfruttare le tecniche di stampa 3D per realizzare degli stampi qualitativi che ci permettano di inserire tutte le componenti hardware del sistema all’interno di una “unica” cover estremamente resistente, flessibile ed economica. A tale proposito abbiamo già studiato soluzioni che ci hanno consentito di raggiungere questo obiettivo.

Dall’altro lato invece, i materiali utilizzati nel progetto Sound and Sensors (cartone e stoffa), ci hanno permesso di generare “nuovo” design in maniera molto veloce (p. 83). A tale riguardo non ci siamo affidati a particolari tecnologie ma abbiamo fatto fede ad una manualità che appartiene, per così dire, a tempi “passati” dove la bravura dell’artigiano (Sennett, 2008) sopperiva alla mancanza di una determinata tecnica o tecnologia. In questo senso vi è un legame molto stretto fra la mano che ha realizzato i prototipi e le mani delle persone che suonano gli strumenti: una qualità dell’artefatto che il mondo dell’industria, della produzione in serie e dell’“omologazione”, cui accennava Pasolini, ci ha fatto dimenticare.

Ci piace evidenziare quindi la particolarità di questa TUI in cui il prototipo è in qualche maniera un “prodotto” dell’artigianato, di un artigianato “nuovo” che ha saputo creare un connubio tra l’abilità manuale e le possibilità offerte dal digitale.

Questo connubio ha avuto un’importanza fondamentale soprattutto nel momento in cui abbiamo applicato la Dj Console come strumento di supporto nel trattamento della dislessia (paper 5). Durante la sperimentazione condotta l’utilizzo del cartone ci ha consentito di modificare la struttura e le caratteristiche della Dj Console in base a quei cambiamenti che ritenevamo necessari apportare rispetto alla strutturazione delle attività. In un’ottica di *user-centered design* abbiamo modificato sia la parte hardware che quella software del sistema Sound and Sensors, tenendo conto dei feedback ricevuti dai soggetti che avevano preso parte alla sperimentazione.

Seguendo un approccio di *research-through-design* abbiamo inoltre proposto un nuovo strumento *wearable*, il Clap, che ci ha permesso di enfatizzare il coinvolgimento del corpo

durante le sessioni e di creare un legame più diretto tra gesto e suono. I risultati sperimentali (Tittarelli et al., 2014) sono basati su un unico soggetto e quindi non possono essere considerati "validi" dal punto di vista terapeutico; tuttavia hanno dimostrato la potenzialità di un approccio olistico dove, nella comparazione (p. 106) tra i test delle parole e non parole (Gathercole et al., 1996) eseguiti prima e dopo l'attività, abbiamo riscontrato, per il test delle parole, una significativa diminuzione degli errori (da 10 a 5) e un miglioramento nella fluenza (da 2,61 a 2,90 sill./sec.).

I materiali a tale scopo hanno giocato un ruolo fondamentale perché ci hanno permesso di adeguare il design degli strumenti anche nell'arco di una sola giornata. Al tempo stesso gli strumenti impiegati hanno dimostrato di possedere una qualità formale che li rende molto più simili a dei prodotti finiti che non a dei "*rough prototypes*". Oltre a questo abbiamo giocato sulla forte fascinazione che deriva dal manipolare un oggetto, composto da un materiale "atono" come il cartone, che riesce, tramite la tecnologia, a trasformare l'interazione in suono. I riscontri positivi ricevuti dalle persone coinvolte nell'iniziativa, ci hanno confermato la validità dell'interazione progettata.

Oltre a questo, ci sembra opportuno evidenziare la particolarità del design dove i riferimenti formali e d'interazione sono ispirati agli archetipi degli strumenti "reali", fatta eccezione per il Theremin (immagine a p. 78) che trova, nelle prospettive degli schizzi architettonici di Sant'Elia, la sua ispirazione.

Il software *open-source* Pure Data, sviluppato da Miller Puckette (Puckette, 1996), ci ha permesso di trasformare il gesto in suono realizzando apposite *patch*: in questo senso crediamo fortemente nell'importanza dei software "liberi" perché permettono di diffondere possibilità e conoscenze a tutti.

Questo fattore ci sembra essenziale nella realizzazione di prodotti destinati all'ambito terapeutico dove spesso gli strumenti che le aziende mettono a disposizione hanno un costo elevato. A breve, riguardo alla Dj Console, andremo a distribuire in modalità *open-source* le *patch* del sistema che, assieme ad un *tutorial* che illustra le modalità di realizzazione della parte hardware di questa TUI, saranno disponibili per chiunque vorrà riprodurlo.

In conclusione, riteniamo di aver dato una risposta concreta alle domande di ricerca che ci eravamo posti all'inizio del nostro lavoro (p. 8).

In particolare ci eravamo chiesti se fosse possibile, attraverso gli strumenti e le metodologie offerte dall'interaction design, creare dinamiche d'interazione più ricche e coinvolgenti. Ci eravamo inoltre chiesti se, attraverso il design, fosse possibile creare forme di relazione contraddistinte da qualità espressive ed emozionali.

Nel Design case 1 il design delle maschere dinamiche della GUI ha dimostrato, osservando i dati presentati (p. 64), la sua efficacia nell'instaurare una relazione di tipo empatico tra user e robot, rispondente alle aspettative sociali della persona. A questo abbiamo "associato" una TUI che, attraverso il suo particolare design, permette allo user, da un lato (progetto Accompany), di comunicare necessità e bisogni al robot in maniera molto semplice (pp. 72-75) e dall'altro di poter interagire con i dispositivi *mobile* attraverso una modalità piacevole ed innovativa (Marti et al., 2015). In questo caso, facendo leva sui paradigmi di *continuous interaction* e di *feedforward* inerente, siamo riusciti a realizzare delle modalità di interazione espressive che creano una forte correlazione tra la materia e il dato, tra la forma e la funzione, tra il corpo e il digitale.

Con il Design case 2 abbiamo risposto, in particolare, alla prima domanda che ci eravamo posti, realizzando una TUI che fa del coinvolgimento del corpo un elemento essenziale nella produzione del suono. In questo caso le modalità di interazione progettate ci hanno permesso di realizzare un'attività innovativa e divertente nell'ambito delle terapie di supporto per la dislessia. I riscontri positivi della sperimentazione condotta (p. 106) ci hanno confermato la validità di questo tipo di approccio.

Le esperienze maturate nel corso di questi tre anni ci hanno permesso di approfondire

gli aspetti teorici che sono alla base della ricerca e ci hanno consentito di sperimentare attivamente le soluzioni formali e tecnologiche che sono alla base della progettazione di una TUI. Crediamo che le interfacce tangibili siano un tramite importante per collegare il mondo "fisico", quello che afferrisce alla materia, a quello "fluidico" più strettamente legato all'elaborazione di un dato altrimenti sottile, impalpabile.

I progetti che abbiamo presentato sono la parte più consistente del lavoro svolto in questi tre anni: abbiamo infatti avuto la fortuna di poter lavorare anche in altri campi dell'interaction design come, ad esempio, nella progettazione e realizzazione dell'installazione interattiva "Ballade of women" (Marti et al., 2015).

Eppure le TUIs hanno, a parer nostro, delle qualità particolari in cui la tecnologia riesce a rendersi concreta, palpabile in uno spazio ben definito, che non è composto solo di materia ma soprattutto di forma che, in modo più o meno estetico, riesce ad assumere il ruolo di "involucro dell'informazione".

E se è vero che l'oggetto è un tramite che ci permette di misurare il nostro ambiente allora è anche vero che uno strumento nuovo ci permette di mettere in atto quella particolare predisposizione che abbiamo. Quella particolare predisposizione dell'uomo a protendersi dallo spazio corporeo verso lo spazio del possibile.

Publicazioni

Su rivista

Marti P., Iacono I., Tittarelli M. (2013) La relazione empatica con i robot. *Rivista Italiana di Ergonomia* (ISSN:2037-3910), 9, pp. 65-75.

Online

Marti, P., Peeters, J., Trotto, A., Tittarelli, M., True, N., Papworth, N. Hummels, C. (2015) Embodying culture: Interactive installation on women's rights. *First Monday*, Volume 20, Number 4 – 6 April 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5210/fm.v20i4.5897>, ISSN 13960466, Available at: <<http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/5897>>

Publicazioni su conferenze internazionali

Tittarelli, M., Marti, P., Peppoloni, D. (2014). Rapping Dyslexia: Learning Rhythm, Rhyme and Flow in Dyslexic Children. In *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, NordiCHI2014, Helsinki, Finland, October 2014.

Marti, P., Iacono, I., Stienstra, J., Tittarelli, M. (2014). Exploring Movement Qualities in a Reciprocal Engagement. In *Proceedings of the fourth joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics*, ICDL 2014, October 2014, Genova, Italy.

Marti, P., Tittarelli, M., Sirizzotti, M., Stienstra, J. (2014). Expression-rich communication through a squeezable device. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, August 12-15, São Paulo, Brazil, 2014.

Lund, H.H., Marti, P., Tittarelli, M. (2014). Remixing Playware. In *Proceedings of The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Edinburgh, Scotland, UK August 2014.

Marti, P., Iacono, I., Tittarelli, M. and Jelle Stienstra (2013). Shaping empathy through perspective taking. In *Proceedings of the 22nd IEEE Ro-Man International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Gyeongju, Korea, 26-29 August 2013.

Stienstra, J., Marti, P., Tittarelli, M. (2013) Dreamy Eyes: Exploring Dynamic Expression in Human-System Interaction. In *Proceedings of CHI 2013*, Paris, 27 April – 2 May 2013.

Trotto, A., Tittarelli, M. Musical viruses for graceful seduction. *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design*, Copenhagen, Denmark, October 14-17, 2012.

Bibliografia

Alibali, M. W., Kita, S. and Young, A. *Gesture and the process of speech production: We think, therefore we gesture*. *Language & Cognitive Processes*, Vol 15, 593–613, 2000.

Amirabdollahian, F., Op den Akker, R., Bedaf, S., Bormann, R., Draper, H., Evers, V., Gallego Perez, J., Gelderblom, G.J., Gutierrez Ruiz, C., Hewson, D., Hu, N., Koay, K.L., Krose, B., Lehmann, H., Marti P., Michel, H., Prevot-Huille H., Reiser, U., Saunders, J., Sorell, T., Stienstra, J.T., Syrdal, D., Walters, M., and Dautenhahn K. (2013). Assistive technology design and development for acceptable robotics companions for ageing years. *Paladyn, Journal of Behavioral Robotics*, pp. 1-19, 2013.

Banzi, M. (2008). *Getting Started with Arduino*. Make Books-Imprint of: O'Reilly Media, Sebastopol, CA, 2008.

Le Brun, C. (1727). *Expression des Passions de l'Ame* (edizione digitale <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1352510>).

Clarkson, E. C., Patel, S. N., Jeffrey, S. P. and Abowd, G. D. (2005). *Exploring Continuous Pressure Input for Mobile Phones*. Proc. ACM, UIST, 2005.

Doherty, G., & Massink, M. (1999). Continuous Interaction and Human Control. *European Conference on Human Decision Making and Manual Control*. Group-D Publications, Loughborough, 1999.

Ekman, P. (1999). Basic Emotions. In Dalglish, T. & Power, M. J. (Eds.), *Handbook of Cognition and Emotion* (pp. 45-60). John Wiley & Sons Ltd., New York, 1999.

Ferris, K., Bannon, L. (2002). The Musical Box Garden. *Proceedings of the 2002 conference on New interfaces for musical expression (NIME'02)*, Dublin, Ireland, May 24-26, 2002, 1-3.

Ferris, K., Bannon, L. (2002). *...a load of ould boxology!*. Proceedings of the 4th conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques, London, England, June 25-28, 2002.

Follmer, S., Leithinger, D., Olwal, A., Hogge, A., Ishii, H. (2013) inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. *Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology*, St. Andrews, Scotland, United Kingdom, October 08-11, 2013.

Fritz, R., Hsiao, C.-P., and Johnson, B. R. (2009). Gizmo and wiiview: Tangible user interfaces enabling architectural presentations. In *Proceedings of the 29th conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA)*, 2009, 278-280.

Galimberti, U. *Il corpo*. Feltrinelli, Milano, 1987.

Gathercole, S., E., Baddeley, A. D. (1996) *The Children's Test of Nonword Repetition*. The Psychological Corporation, London, UK, 1996

- Gibson, J.J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- Goldin-Meadow, S. (2003) *Hearing gesture: How our hands help us think*. Harvard University Press, 2003.
- Harrison, B. L., Fishkin, K., Gujar, A., Mochon, C. and Want, R. (1998). The design and use of squeezable computers: an exploration of manipulative user interfaces, *Proc. CHI '98*, 1998 pp. 18-23.
- Hengeveld, B. (2011) *Designing LinguaBytes : a tangible language learning system for non- or hardly speaking toddlers*. Doctoral dissertation, Thesis (Phd) Eindhoven University of Technology Library. ISBN 978-90-386-2533-1
- Hengeveld, B., Hummels, C., van Balkom H., Voort, R., de Moor, J. (2013). Wrapping up LinguaBytes, for now, *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, Barcelona, Spain, February 10-13, 2013.
- Ishii, H., Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms, *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human factors in computing systems*, Atlanta, Georgia, USA, March 22-27, 1997, 234-241.
- Ishii, H., Lakatos, D., Bonanni, L. and Labrune, J-B. (2012). Radical atoms: beyond tangible bits, toward transformable materials. *Interactions* 19, 1, 38-51, January 2012.
- IDA Board of Directors, *International Dyslexia Association*, Nov. 12, 2002.
- Iacono, I., Marti, P. Engaging Older People With Participatory Design. In *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction (NordiCHI2014)*, October 26-30, Helsinki, Finland, pp. 859-864.
- Jordà, S. (2008). On stage: The reactable and other musical tangibles go real, *International Journal of Arts and Technology (IJART)*, Vol. 1, no. 3/4, pp. 268–287, Special Issue on Tangible and Embedded Interaction 2008.
- Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M. and Kaltenbrunner, M. (2007). The reactTable: Exploring the synergy between live music performance and *tabletop* tangible interfaces, in *Proceedings of TEI '07*, pp. 139–146, NY: ACM, 2007.
- Kaltenbrunner, M., Bencina, R. (2007). reactIVision: a computer-vision *framework* for table-based tangible interaction. *Proc. TEI 2007*, ACM Press, 2007.
- Kildal, J., Paasovaara, S., Aaltonen, V. (2012). Kinetic *device*: designing interactions with a deformable mobile interface, *CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, Austin, Texas, USA, May 05-10, 2012.
- Laurillard D. (1993). *Rethinking university teaching: A framework for the effective use of educational technology*. Routledge, London, 1993.
- Leithinger, D., Follmer, S, Olwal, A., Ishii, H. (2014). Physical telepresence: shape capture and *display* for embodied, computer-mediated remote collaboration. *Proceedings of the 27th*

annual ACM symposium on User interface software and technology, Honolulu, Hawaii, USA, October 05-08, 2014.

Leithinger, D., Follmer, S., Olwal, A., Luescher, S., Hogge, A., Lee, J., and Ishii, H. (2013). Sublimate: State-Changing Virtual and Physical Rendering to Augment Interaction with Shape Displays. *Proceedings of CHI 2013 (SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems)*, Paris, France, April 27-May 2, 2013, 1441-1450.

Lund, H.H., Marti, P., Tittarelli, M. (2014). Remixing Playware. *Proceedings of The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2014)* Edinburgh, Scotland, UK 25-29 August 2014, 49 – 55.

Marti, P. (2010). Perceiving while being perceived. *International Journal of Design*, Vol. 4 (2), pp. 27-38, 2010.

Marti, P., Bacigalupo, M., Giusti, L., Mennecozi, C., Shibata, T. (2006). Socially Assistive Robotics in the Treatment of Behavioural and Psychological Symptoms of Dementia. *Proc. IEEE Int'l Conf. on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob'06)*, Pisa, Italy, February 20-22, 2006.

Marti P., Iacono I., Tittarelli M. and Jelle Stienstra. Shaping empathy through perspective taking. *Proceedings of the 22nd IEEE Ro-Man International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Gyeongju, Korea, 26-29 August 2013.

Marti, P., Iacono I., (2015) Evaluating the Experience of Use of a Squeezable Interface. *Proceedings of the 11th Biannual Conference on Italian SIGCHI Chapter*, CHItaly 2015, 42-49.

Marti, P., Peeters, J., Trotto, A., Tittarelli, M., True, N., Papworth, N. Hummels, C. (2015) Embodying culture: Interactive installation on women's rights. *First Monday*, Volume 20, Number 4 – 6 April 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5210/fm.v20i4.5897>, ISSN 13960466, Available at: <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/5897>

Nagel, T., Heidmann, F., Condotta, M. & Duval, E. (2010). Venice Unfolding: A Tangible User Interface for Exploring Faceted Data in a Geographical Context. *Proceedings NordiCHI 2010*, Reykjavik, Iceland, October 16–20, 2010, 743–746.

Ou, J., Yao, L., Tauber, D., Steimle, J., Niiyama, R., Ishii, H. (2014) jamSheets: thin interfaces with tunable stiffness enabled by layer jamming. *Proceedings of the 8th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*, Munich, Germany, February 16-19, 2014, 65–72.

Patten, J. and H. Ishii, (2007). Mechanical constraints as computational constraints in tabletop tangible interfaces. In *Proceedings of CHI'07*, NY: ACM, 2007, 809–818.

Patten, J., Ishii, H., Hines, J., Pangaro, G. (2001). Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Seattle, Washington, USA, March 2001, 253-260.

Patten, J., Recht, B. and Ishii, H. (2002). Audiopad: A tag-based interface for musical performance, in *Proceedings of the International Conference on New Interface for Musical Expression NIME02*, 2002, 24–26.

- Picard, R. W. (1997). *Affective computing*. MIT Press Cambridge, Massachusetts, USA, 1997.
- Puckette, M. (1996). Pure Data: another integrated computer music environment. *Proceedings, Second Intercollege Computer Music Concerts*, Tachikawa, Japan, 37-41.
- Resnick, M. (1993). Behavior construction kits. *Communications of the ACM*, Vol. 36, no. 7, pp. 64–71, July 1993.
- Rogers, Y. and Muller, H. (2006). A framework for designing sensor-based interactions to promote exploration and reflection in play, *International Journal of Human Computer Studies*, Vol. 64, no. 1, pp. 1–14, 2006.
- Schiettecatte, B. and Vanderdonck, J. (2008). AudioCubes: A distributed cube tangible interface based on interaction range for sound design," in *Proceedings of TEI '08*, pp. 3–10, NY: ACM, 2008.
- Sennett, R. (2008). *L'uomo artigiano*. Edizioni Feltrinelli, Milano, 2008.
- Schweikardt, E., Gross, M. (2008). The robot is the program: interacting with roBlocks, *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*, Bonn, Germany, February 18-20, 2008.
- Shaer, O. and Hornecker, E. (2010) Tangible user interfaces : past, present and future directions. *Foundations and Trends in HumanComputer Interaction*, 3 (1-2). pp. 1-137.
- Sharlin, E., Watson, B., Kitamura, Y., Kishino, F. and Itoh, Y. (2004). On tangible user interfaces, humans and spatiality. *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 8, no. 5, pp. 338–346, 2004.
- Sheridan, J. G. and Bryan-Kinns, N. (2008). Designing for performative tangible interaction, *International Journal of Arts and Technology (IJART)*, Vol. 1, no. 3/4, pp. 288–308, 2008.
- Shibata, T., Wada, K., Saito T. and Tanie, K. (2001). Robot assisted activity for senior people at day service center, *Proc. Int. Conf. ITM*, 2001, 71 -76.
- Smith, G. C. (1995). The marble answering machine. In *The Hand That Rocks the Cradle*, pp. 60-65, May/June 1995.
- Stienstra, J.T., Overbeeke, C.J., Marti, P., Lévy, P.D. & Hummels, C.C.M. (2012). *Mapping the Continuous to the Discrete : Interaction Aesthetics in Complex Products and Systems*. (Internal Report). Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
- Tittarelli, M. (2011) +++ *wearable player. Sistema di viral music sharing per il settore wellness*. Tesi Magistrale, Università di Firenze.
- Trotto, A., Tittarelli, M. Musical viruses for graceful seduction. *Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Making Sense Through Design*, Copenhagen, Denmark, October 14-17, 2012.
- Ullmer, B. and Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*, vol. 39, no. 3–4, pp. 915–931, July 2000.

Ullmer, B. and Ishii, H. (2001). Emerging *frameworks* for tangible user interfaces, in *Human-Computer Interaction in the New Millennium*. (J. M. Carroll, ed.) Addison-Wesley, pp. 579–601, 2001.

Ullmer, B., Ishii, H. and Jacob, R. (2005). *Token+constraint* systems for tangible interaction with digital information, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 12, n. 1, pp. 81–118, 2005.

Underkoffler, J. (1999). *The I/O Bulb and the Luminous Room*, Thesis (Ph.D.) Massachusetts Institute of Technology, School of Architecture and Planning, Program in Media Arts & Sciences, 1999.

Underkoffler, J. and Ishii, H. (1999). Urp: a luminous-tangible workbench for urban planning and design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: the CHI Is the Limit* (CHI '99) Pittsburgh, Pennsylvania, United States, May 15 - 20, 1999 ACM, New York, NY, 386-393.

Wada, K. and Shibata, T. (2009). Social effects of robot therapy in a care house-change of social network of the residents for one year, *Journal of Advanced Intelligent Informatics and Computational Intelligence* Vol.13 No.4, pp. 386-387. 2009.

Wensveen, S. A. G. (2005). A tangibility approach to affective interaction. Doctoral dissertation, Delft University press, 2005.

Wensveen, S. A. G., Djajadiningrat, J. P., Overbeeke, C. J. (2004). Interaction frogger: a design *framework* to couple action and function through feedback and feedforward, *Proceedings of the 5th conference on Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques*, Cambridge, MA, USA, August 01-04, 2004.

Williams, F., Nicola, Y., Hayes, R. (2009). Collaborative benefits of a tangible interface for autistic children. *Proceeding of CHI'09*, Boston, MA, USA, 1-4.

Zimmerman, J., Forlizzi, J. and Evenson, S. Research through design as a method for interaction design research in HCI. In *Proc. SIGCHI 2007*, ACM (2007), 493-502.

Ringraziamenti

a Nino e Misa

ai quali voglio dedicare questa tesi.
Ritrovarmi bambino, accanto a voi,
in ogni esperienza di questa mia "età
matura", è uno dei più bei doni
che avete saputo regalarmi.

ad Antonietta,
Angelo, Giselda e
Luciano

perché è bello trovare in
me piccole "parti" di
ognuno di voi.

a Gloria.

Ci aspetta un lungo e meraviglioso
viaggio e so che il tuo sguardo da
bambina sarà il migliore compagno
di questa nostra avventura.

a Patrizia

che mi ha aperto la strada a
nuove possibilità. Spero che
in futuro continueremo a
lavorare e "progettare
bellezza" insieme.

a Iolanda e Matteo

perché non avrei potuto chie-
dere dei compagni e colleghi
migliori di voi. Lavorare insieme è
un piacere e spero che in futuro
riusciremo a realizzare tanti
piccoli *glitch*.

to a real friend, Chet

You're one of the most generous
and beautiful persons I've ever met
in my life. Thanks for your help and
your friendship mate.

a Tonino

per il suo aiuto ed i suoi preziosi
consigli nella stesura di questa tesi.

to Ambra, Stoffel,
Kees and the DQI group.

With you I've learned a lot,
about our work and
about life. Thank you.

a questo meraviglioso Paese
che ha saputo raccontarmi in ogni
paesaggio ed in ogni scorcio cosa
sia, veramente, la bellezza.

Presentazione del Collegio alla Commissione di Michele Tittarelli

Il dott. Michele TITTARELLI, nato a GUALDO TADINO, il 23/04/1981, laureato con il riconoscimento della dignità di pubblicazione al Corso di Laurea Magistrale in Design della Facoltà di Architettura di Firenze, ha svolto negli anni 2012/13, 2014, 2015 il dottorato di ricerca presso il Dipartimento di Scienze Sociali Politiche e Cognitive dell'Università degli Studi di Siena.

Il Dott. Tittarelli ha svolto la sua attività di ricerca principalmente nell'ambito del progetto Accompany (Acceptable robotiCs COMPanions for AgeiNg Years - <http://accompanyproject.eu>), un progetto di ricerca cofinanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del 7° Programma Quadro (FP7-ICT-2011-7 "ICT for Ageing and Wellbeing - ICT-2011.5.4 - contract number 287624). Obiettivo del progetto era quello di sviluppare una serie di funzionalità del robot Care-O-bot® per migliorare l'autonomia dell'anziano nel contesto domestico. Care-O-bot® è parte di un ambiente intelligente, una smart home che fornisce al robot informazioni per muoversi autonomamente in casa ed eseguire alcuni compiti di relativi alla manipolazione e trasporto di oggetti. Il Work Package 2 del progetto (Social and empathic interaction design), coordinato dall'Università di Siena, aveva come obiettivo quello di progettare l'interazione persona-robot in modo da stimolare la socialità e favorire l'emergere di scambi empatici.

Nell'ambito di Accompany, il Dott. Tittarelli ha contribuito a progettare e sperimentare sul campo un'interfaccia grafica adattiva per comunicare con il robot, associata a modalità tangibili di interazione espressiva con il robot (comunicare l'urgenza di un comando modulando l'intensità con cui il comando viene inviato al sistema, ad esempio "strizzando" il device di input).

Tittarelli ha sperimentato e applicato con successo i risultati della sua ricerca non soltanto nell'ambito del progetto europeo Accompany, ma anche in altri due progetti svolti presso il Laboratorio di Robotica e Tecnologie per l'Apprendimento che coordina.

Il primo progetto riguardava lo sviluppo di un sistema di strumenti in parte wearable, in parte ad interazione tangibile, progettati per performance musicali. Il sistema è stato sperimentato, con esiti positivi, come strumento compensativo nelle terapie di supporto della dislessia.

Il secondo progetto riguarda la partecipazione alla ideazione e sviluppo di una installazione interattiva sul tema dei diritti delle donne, in cui sono state esplorate modalità di interazione mista fra spazio reale e virtuale con abilitata da movimenti del corpo. Il progetto si è concluso con una mostra presso Palazzo Sansedoni a Siena, edificio storico di proprietà della Fondazione Monte dei Paschi di Siena.

Il Dott. Tittarelli ha contribuito molto positivamente ai progetti di cui ha fatto parte, in termini di studio della letteratura sulle interfacce tangibili, ideazione ed esplorazione di modalità diverse di interazione, prototipazione di interfacce tangibili nelle componenti visuali e materiali, e sperimentazione sul campo.

La qualità della sua ricerca è testimoniata dal buon livello di pubblicazioni scientifiche in conferenze internazionali, e riviste italiane e straniere con peer-review, di cui si allega la lista.

Data la buona produzione scientifica in termini di pubblicazioni (1 pubblicazione su rivista italiana con peer-review, 6 pubblicazioni su conferenze internazionali ACM e IEEE, 1 pubblicazione su rivista internazionale con peer-review), e dato il parere positivo del collegio dei docenti, il candidato ha preparato la sua tesi di dottorato selezionando alcuni degli articoli pubblicati, commentandoli in modo da far emergere il contributo della ricerca nel settore delle interfacce tangibili, preparando ex novo una introduzione di inquadramento teorico al tema, e fornendo conclusioni relative ai risultati delle sperimentazioni sul campo.

Il Collegio esprime apprezzamento per il lavoro svolto da Michele Tittarelli durante i suoi studi dottorali nel settore delle Tangible Interfaces, esplorate con buon approfondimento teorico e concretamente realizzate e sperimentate sul campo, e ritiene che egli abbia raggiunto un buon grado di autonomia nello svolgere attività di ricerca scientifica ed un buon rigore metodologico.

Publicazioni

- Marti, P., Peeters, J., Trotto, A., Tittarelli, M., True, N., Papworth, N. Hummels, C. (2015) Embodying culture: Interactive installation on women's rights. *First Monday*, Volume 20, Number 4 – 6 April 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5210/fm.v20i4.5897>, ISSN 13960466, Available at: <<http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/5897>>
- Tittarelli, M., Marti, P., Peppoloni, D. (2014). Rapping Dyslexia: Learning Rhythm, Rhyme and Flow in Dyslexic Children. In *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, ACM NordiCHI2014, Helsinki, Finland October 2014.
- Lund, H.H., Marti, P., Tittarelli, M. (2014). Remixing Playware. In *Proceedings of The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Edinburgh, Scotland, UK August 2014.
- Marti, P., Iacono, I., Stienstra, J., Tittarelli, M. (2014). Exploring Movement Qualities in a Reciprocal Engagement. In *Proceedings of the fourth joint IEEE International Conference on Development and Learning and on Epigenetic Robotics*, ICDL 2014, October 2014, Genova, Italy.
- Marti, P., Tittarelli, M., Sirizzotti, M., Stienstra, J. (2014). Expression-rich communication through a squeezable device. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, August 12-15, 2014 São Paulo, Brazil.
- Stienstra, J., Marti, P., Tittarelli, M. (2013) Dreamy Eyes: Exploring Dynamic Expression in Human-System Interaction. In *Proceedings of ACM CHI 2013*, Paris, 27 April – 2 May 2013.
- Marti, P., Iacono, I., Tittarelli, M. and Jelle Stienstra (2013). Shaping empathy through perspective taking. In *Proceedings of the 22nd IEEE Ro-Man International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, Gyeongju, Korea, 26-29 August 2013.
- Marti P., Iacono I., Tittarelli M. (2013) La relazione empatica con i robot. *Rivista Italiana di Ergonomia* (ISSN:2037-3910), 9, pp. 65-75.

Il coordinatore del Dottorato

Prof. Luigi Chisci

