



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Dipartimento di Automatica e Informatica

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione

A.a. 2022/2023

Sessione di Laurea di Marzo/Aprile 2023

L'uso di display fisici per la visualizzazione delle informazioni e l'interazione

Uno studio su un display flip-dot

Relatore:

Prof.ssa Tatiana Mazali

Candidato:

Marzio Del Sole
S287757

Correlatore:

Prof. Giovanni Malnati

Sommario

Introduzione.....	3
1. Gli schermi fisici.....	7
1.1. Che cos'è uno schermo?	7
1.1.1. Monitor, bacheca, display	10
1.2. Schermo digitale e schermo fisico.....	12
1.2.1. I tentativi di "evasione" in arte.....	15
1.3. Il pixel e la frammentazione dell'immagine.....	20
1.4. Gli antenati dei physical displays	23
1.4.1. Arte cinetica	28
1.5. L'Embodiment.....	30
1.5.1. Social computing e tangible computing	31
1.5.2. "Being-in-the-world "	33
1.5.3. I principi dell' <i>embodied design</i> secondo Dourish.....	35
1.5.4. L'Embodiment dei display	40
2. I display fisici in arte, design e ricerca.....	41
2.1. BREAKFAST New York	42
2.1.1. Forever 21 Thread Screen, 2015.....	45
2.2. ART+COM.....	48
2.2.1. Rinascimento dello spazio	51
2.3. Gli specchi meccanici di Daniel Rozin.....	55
2.3.1. La raccolta di specchi.....	59
2.4. KINEIN: A <i>Kinetic Display as a Research Product</i>	61
2.5. inFORM: a <i>Dynamic Shape Display from MIT</i>	65
2.6. Drone Art	69
3. La visualizzazione delle informazioni e l'interazione con i display fisici	77
3.1. <i>The Value of Visualization</i>	78
3.2. Visualizzazioni fisiche e virtuali.....	80
3.3. Controlli fisici e virtuali.....	81
3.4. Tecnologie per l'interazione con i display fisici.....	83
3.4.1. Fenomeni di <i>blindness</i>	86
3.4.2. Interfacce fisiche tradizionali	88

3.4.3.	Manipolazione diretta: gli <i>shape display</i>	90
3.4.4.	Interfacce <i>touchless</i>	92
3.4.5.	Display fisici connessi	97
4.	La tecnologia di un display <i>flip-dot</i>	101
4.1.	Nuova vita per i display <i>flip-dot</i>	101
4.2.	Il funzionamento dei moduli	110
5.	Progettazione per display <i>flip-dot</i>	117
5.1.	Visualizzazione delle informazioni	119
5.1.1.	Visualizzazione del testo	119
5.1.2.	Visualizzazione di immagini e video	126
5.2.	Interazione	131
5.2.1.	Prototipo di controller fisico	131
5.2.2.	Prototipo di controllo tramite pose estimation	140
Conclusioni		149

Introduzione

La rappresentazione fisica delle informazioni si ritiene essere più antica dell'invenzione della scrittura e grazie ai computer gli elementi fisici possono nuovamente ricoprire una figura centrale nella visualizzazione, diventando dei veri e propri pixel di nuovi display, fisici. Negli anni in cui anche il 4K sembra essere superato, nei *physical displays* il pixel svanisce, diventa elemento del passato, lasciando spazio a vere e proprie macchine cinetiche in grado di rappresentare le informazioni grazie a elementi meccanici.

Il tema dei display fisici (*physical displays*) viene esplorato nel corso dell'elaborato sotto molteplici aspetti, partendo dal contesto storico e artistico che ne ha portato alla diffusione fino ad arrivare ad uno studio dei limiti e delle opportunità fornite da questo tipo di presentazione delle informazioni, fornendo esempi sulle modalità di interazione e visualizzazione.

Durante lo svolgimento del tirocinio curricolare presso lo studio di design torinese TODO S.r.l., ho avuto l'occasione di lavorare al software di controllo di un display flip-dot, cogliendone così il funzionamento hardware e software. L'interesse suscitato nei confronti dei display fisici mi ha portato a condurre un'analisi parallela su come il concetto di display si sia potuto slegare dall'idea di matrice di punti luminosi, accogliendone una più ampia, in cui i pixel diventano elementi fisici in movimento, qualcosa di vivo e meccanico in grado di comunicare con l'ambiente circostante.

Numerose sono state le domande che sono nate dal primo approccio con queste tecnologie, alle quali si è voluto dare risposta attraverso il lavoro di ricerca riportato in questo elaborato.

L'obiettivo di questa tesi è quello di esplorare ed individuare i limiti e le opportunità della visualizzazione fisica delle informazioni, valutando le differenze con una visualizzazione virtuale tipica degli schermi classici, facendo particolare riferimento ai display flip-dot, e le possibilità di interazione offerte. La scarsa presenza in letteratura di testi dedicati a questo tipo di tecnologie, sviluppate da diverse decine di anni, ha suggerito la necessità di tracciare l'evoluzione storico-artistica che ha portato alla diffusione dei display fisici nell'ambito del design e della ricerca, ponendo il principio dell'embodiment al centro della progettazione.

Una prima parte dell'elaborato mira in questo modo a proporre una chiave di lettura degli schermi fisici derivata da un contesto artistico, culturale e sociale, mettendo in luce le caratteristiche che contraddistinguono e rendono altrettanto interessanti e attrattivi questi display in confronto a quelli classici a matrice luminosa.

In aggiunta ad una trattazione teorica si sono voluti esporre anche i risultati ottenuti dalla effettiva sperimentazione con diverse tipologie di tecniche di interazione e di visualizzazione su display fisici, dove l'uso del touchscreen è precluso dalla natura stessa dello schermo e la risoluzione si pone come uno dei principali fattori limitanti. Questa sezione si pone l'obiettivo di fornire alcune soluzioni pratiche per la progettazione di applicazioni e sistemi di controllo per i display flip-dot, in particolare per la visualizzazione di immagini, video e contenuti testuali, e per l'interazione attraverso controller fisici o interfacce *touchless*.

La prima parte di ricerca è stata svolta studiando in letteratura scientifica e artistica tutti gli eventi ed invenzioni che hanno portato alla nascita dei display fisici, ragionando sul concetto di schermo preso nelle sue parti formanti, individuando i tentativi di evasione dal concetto classico di schermo e proponendo gli studi di P. Dourish sull'embodiment.

Il criterio di selezione e di ricerca degli esempi citati durante la trattazione è stato cercare di raccogliere i casi studio considerati più rilevanti, creando così una raccolta più varia possibile delle opportunità fornite. Le interviste rilasciate dagli inventori e progettisti degli schermi presi in esame si sono rivelate essere prezioso materiale per riuscire a definire diversi aspetti del design ed ideazione dei display nei diversi contesti.

Nella seconda parte si sono cercati di applicare alla progettazione per display flip-dot alcuni algoritmi e modelli per l'interazione. Attraverso l'implementazione di questi in uno strumento di simulazione è stato possibile anche comparare i diversi risultati con diversi input e con diverse dimensioni delle matrici, in modo da validare efficacemente i risultati ottenuti.

La tesi si articola in cinque capitoli. Nel primo capitolo viene tracciata l'evoluzione dello schermo che ha portato alla nascita dei display fisici, approfondendo il concetto di embodiment, i principi del quale sono posti centro della progettazione. Nel secondo vengono forniti esempi di display fisici che trovano applicazione nell'arte, nel design e nella ricerca, volti a mettere in esame le diverse tecnologie già esplorate e affermate e scoprire quelle ancora

in fase di sviluppo. Il terzo capitolo conclude la trattazione teorica individuando le differenze con gli schermi classici, riportando soluzioni per vincere i fenomeni di *blindness* ed esplorando le diverse possibilità di visualizzazione ed interazione con i display fisici, tra cui controlli tangibili e interfacce *touchless*. Gli ultimi due capitoli sono dedicati alla sperimentazione con un display flip-dot: nel quinto capitolo viene introdotta la tecnologia individuando le cause della rinascita di questo tipo di schermi e spiegandone il funzionamento teorico; nell'ultimo vengono invece dimostrate alcune scelte progettuali in grado di agevolare l'interazione, riportando algoritmi e modelli utilizzati, commentando i risultati ottenuti.

Grazie a questo lavoro di ricerca è stato possibile definire gli aspetti peculiari dei display fisici e fornire alcuni metodi per sfruttarne le caratteristiche principali, risultati che saranno esposti dettagliatamente nelle conclusioni finali.

1. Gli schermi fisici

1.1. Che cos'è uno schermo?

Al giorno d'oggi, siamo circondati da schermi, di ogni tipologia, forma, dimensione, tecnologia. Ci permettono di rimanere in contatto con il mondo dal mattino alla sera, dal cellulare, sempre presente nelle nostre tasche, al laptop, al televisore. Molto spesso, ci forniscono la possibilità di lavorare e di studiare, sostituiscono i libri, ci intrattengono attraverso i videogiochi, i film e le serie tv, ma garantiscono anche la sicurezza, attraverso la visione delle immagini delle telecamere, o informazioni sui trasporti nelle aree di controllo di stazioni e aeroporti. Tecnologie come la realtà virtuale e la realtà aumentata ci permettono di esplorare luoghi surreali, frutto della fantasia o impossibili da raggiungere, ma anche visualizzare oggetti virtuali immersi nella realtà di tutti i giorni. Il ruolo degli schermi sarà ancora per diversi anni di fondamentale importanza nella nostra quotidianità.

Il susseguirsi delle diverse definizioni della parola "schermo" è istruttivo, in quanto mostra il percorso dall'idea di oggetto che protegge e copre, a quella di superficie che fa intravedere ciò che sta dietro, per accogliere infine rappresentazioni di nuovi mondi e riflettere la nostra personalità. (Casetti 2014)

Esplorando i significati attribuiti al vocabolo nel susseguirsi delle epoche storiche, si può notare come per secoli non abbia indicato una superficie sulla quale venivano visualizzate immagini, bensì, "ciò che va a coprire, a riparare qualcuno o qualcosa da agenti esterni, intemperie, fattori nocivi, a nascondere alla vista. [...] Ciò che si frappone allo sguardo impedendo di vedere persone o cose", definizione utilizzata anche da Dante nella Divina Commedia¹. La parola deriva infatti dal termine antico alto tedesco *skirm*, ovvero scudo, riparo, difesa². Allo stesso modo, il termine inglese *screen* deriva dall'antico *scren*, con il significato di "superficie che protegge dall'aria e dal fuoco".³

¹ Definizione tratta dal [Grande Dizionario della Lingua Italiana, vol XVII, pag. 965](#) (Ristampa 1966-2002)

² Definizione tratta dal Dizionario Etimologico Online etimo.it

³ Definizione tratta dal Merriam-Webster Online Dictionary

Durante il XIX secolo, il termine inizia ad appropriarsi anche del significato legato all'intrattenimento, spesso indicato come uso "improprio" del termine. In particolare, si indica con "schermo" la superficie semitrasparente su cui vengono proiettate le ombre e le immagini della Lanterna Magica⁴. Inoltre, in epoca vittoriana, si utilizzava il termine inglese anche per chiamare una superficie sulla quale poter attaccare oggetti e immagini da esporre⁵. Nel corso del XX secolo, il termine "schermo" arriva ad indicare la "superficie bianca su cui si forma e dalla quale viene diffusa l'immagine impressa sulla pellicola cinematografica o sulla diapositiva"⁶ e per estensione anche i supporti per visualizzare immagini in movimento derivanti da elaboratori elettronici.

Dal percorso dei significati della parola, si può notare il parallelismo con le varie metafore che sono state usate per lo schermo dalle teorie classiche del cinema: *finestra*, *quadro* e *specchio*. Non bisogna dimenticare che lo schermo cinematografico, oltre a mostrare, oscura anche, impedendo la vista. Il cinema può paradossalmente mostrare l'indicibile e affascinare con immagini indimenticabili, ma si presenta "velato". (Dallow 2014)

Anche con l'avvento della televisione negli anni Trenta e Quaranta, pur cambiando il supporto con il quale avviene la rappresentazione delle immagini (non più riflettente ma emittente) le metafore rimangono invariate. Il "piccolo schermo" televisivo costituisce un punto di contatto tra l'ambiente domestico e l'esterno, ritrae il mondo come un film, come un quadro e, come uno specchio, riflette la società e gli avvenimenti lontani. (Arnheim 2009)

Negli anni Settanta, Ottanta e Novanta, arriva il punto di svolta. In questi anni, fioriscono le prime installazioni multi-schermo (IBM Pavilion alla New York World's Fair del 1964, Chelsea Girls di Andy Warhol del 1966), le connessioni del televisore a VCR e consolle per videogiochi, il Minitel, più avanti i primi cellulari e i computer. Il concetto di "schermo" cambia.

⁴ Definizione tratta dal [Grande Dizionario della Lingua Italiana, vol XVII, pag. 966](#) (Ristampa 1966-2002)

⁵ "A contrivance in the form of a screen, for affording an upright surface for the display of objects for exhibition" A New English Dictionary, VIII, p. 272.

⁶ Definizione tratta dal [Grande Dizionario della Lingua Italiana, vol XVII, pag. 966](#) (Ristampa 1966-2002)



Figura 1. IBM Pavillion al New York World's Fair, 1964. Il tema del pavilion era "Man's Achievement on a Shrinking Globe in an Expanding Universe"

Lev Manovich in *The Language of New Media*, dedica parte del secondo capitolo, *The Interface*, allo schermo e allo user. Secondo l'autore statunitense, lo schermo sta diventando rapidamente il mezzo principale per accedere a qualunque tipo di informazione, in quanto solo grazie a questa tecnologia di fatto molto antica, è possibile la realtà virtuale, la telepresenza e l'interattività. "We may debate whether our society is a society of spectacle or of simulation, but, undoubtedly, it is a society of the screen"⁷. (Manovich 2001)

Quello che Manovich definisce "schermo dinamico", che aggiunge alle proprietà dello "schermo classico" la possibilità di mostrare immagini che cambiano nel tempo, comporta una particolare relazione tra immagine e spettatore. Questo "regime di visione" chiede allo spettatore di non essere scettico e identificarsi totalmente con l'illusione e la ricchezza visuale creata dall'immagine, ignorando lo spazio fisico all'esterno. Tuttavia, questo concetto di schermo sta decadendo. Diverse tecnologie permettono di fare coincidere spazio fisico reale e spazio simulato, permettendo il riconoscimento dello schermo come una vera e propria categoria culturale.

⁷ Possiamo discutere se la nostra società sia una società dello spettacolo o della simulazione, ma, senza dubbio, è una società dello schermo.

1.1.1. Monitor, bacheca, display

La nuova natura dello schermo viene delineata dalle nuove metafore che oggi gli si attribuiscono, e con le quali molte volte la parola viene sostituita.

Lo schermo come *monitor* è una delle parole chiave della nuova natura. Lo si può trovare nei centri di sorveglianza, nei negozi, negli appartamenti, è lo schermo utilizzato per ispezionare quanto ci circonda, analizzarlo, verificarlo, tenerlo sotto controllo (Casetti 2014). Dal verbo latino *monere*, il monitore è colui che ammonisce, che avvisa⁸, e allo stesso modo il *monitor* in telecomunicazioni è proprio l'apparecchio che consente di sorvegliare su un ricevitore video una trasmissione⁹. Spesso ci si riferisce ai videotermini dei computer con il termine *monitor*, in quanto agli albori della tecnologia dei calcolatori erano utilizzati per monitorare lo stato interno della macchina e poiché i primi *monitor* erano in grado di visualizzare solo un ristretto volume di informazioni, non venivano considerati come dei dispositivi di *output* (al loro posto, si preferiva una stampante).

Quasi a sostituire la tradizionale metafora del quadro, lo schermo è spesso utilizzato come *bacheca* o *lavagna*, basti pensare ai tabelloni delle stazioni e degli aeroporti, ai cartelloni digitali sui palazzi delle città, agli schermi a 8 segmenti nei supermercati, a tutti gli elementi di *digital signage* in negozi e spazi pubblici. Tutti questi schermi non rappresentano, come accennato in precedenza, un mondo esterno, lo specchio della società, ma piuttosto promemoria, segnali, informazioni, pubblicità, ci aiutano a passare il tempo, informarci, prepararci ad azioni future o influenzare le nostre scelte commerciali.

Il concetto di *display* è quello che più incarna lo schermo nuovo, che interagisce con l'utente. Il display, come suggerisce il termine, "mette in mostra", organizza degli elementi in modo da renderli visibili e disponibili alle persone. Questo nuovo schermo, quindi, compie solo l'azione di "rendere accessibile", a differenza delle definizioni precedenti, il display ha piene potenzialità solo nel momento in cui l'osservatore ci presta attenzione.

⁸ Definizione tratta dal Dizionario Etimologico Online etimo.it

⁹ Definizione tratta dal [Grande Dizionario della Lingua Italiana, vol. X, pag. 808](#)

Lo schermo-display si realizza al massimo con lo schermo interattivo, come quello di tablet e smartphone, in cui il tocco diventa lo strumento che notifica l'attenzione dell'utente. Il susseguirsi di diverse schermate e informazioni su un display è dato dalla volontà dell'osservatore di esplorare il mondo posto a sua disposizione. Il *touchscreen* non è l'unica modalità con cui si rende possibile l'interazione con il display, diverse sono le tipologie di interazione rese disponibili dalla tecnologia di oggi e alcune di esse verranno prese in analisi nel corso della trattazione.

I display richiedono quindi la partecipazione attiva dell'osservatore, coinvolgendo molteplici canali sensoriali per l'esplorazione dei contenuti e per la ricezione dei messaggi, rendendoli così dei media partecipativi collocabili tra la logica *push* e la logica *pull*. La comunicazione *push* prevede l'invio di informazioni al destinatario senza l'aspettativa di un riscontro o una risposta immediata, logica seguita dalla caratteristica di "messa in mostra" dei contenuti dello schermo-display. Tipici esempi di media che seguono questo paradigma sono la televisione e la radio, che, come il display, rendono accessibili le informazioni senza aspettare un *feedback*. Tuttavia, questa nuova tipologia di schermo è completamente realizzata nel momento in cui l'osservatore presta attenzione ed interagisce con esso, con qualsiasi canale sensoriale. La comunicazione *pull* prevede che il consumatore venga "attirato" dal medium ed estraiga in autonomia i contenuti, come nel caso di giornali e riviste. Il display può rientrare dunque anche in questa categoria di tecnologia, in quanto è l'osservatore che "cattura" immagini ed informazioni e guida il flusso dei contenuti, elemento centrale dell'osservazione.

Come espresso da Francesco Casetti in *Che cos'è uno schermo oggi?*, "dal display non ci si affaccia, né ci si riempie gli occhi, né ci si sporge. Si chiede, come a uno sportello. Si lavora, come su un tavolo. Si aspetta, come a una fermata d'autobus. E ci si trova di fronte a qualcosa che si trattiene con noi giusto per quanto serve" (Casetti 2014).

Alla luce di queste riflessioni, lo schermo fisico diventa quindi *display* fisico. Portando a sé l'attenzione degli osservatori, manifesta la sua presenza e pone di fronte all'utente i suoi contenuti, nel caso in cui intendesse utilizzarli. La vicinanza della forma fisica al mondo che ci circonda e la maggiore

naturalzza ed immediatezza dell'interazione fisica in confronto a quella tradizionale, invita ancor di più l'osservatore a "catturare" le informazioni messe a disposizione dal display. L'utente prende i dati resi visibili dal sistema, li elabora, altera, riorganizza, e possibilmente li pone nuovamente a disposizione in forma diversa da quella originale. I contenuti vengono così posti in movimento, in circolazione, in antitesi al tradizionale andamento unidirezionale delle informazioni, dalla sorgente all'utente.



Figura 2. Esempio di display fisico. *MegaFon Pavilion*, realizzato per le Olimpiadi invernali di Sochi del 2014. Più di diecimila attuatori erano in grado di riprodurre i volti degli spettatori, fotografate con speciali fotocamere 3D.

1.2. Schermo digitale e schermo fisico

Lo schermo come è stato descritto precedentemente ha perso le caratteristiche di superficie piatta, rettangolare, intesa per essere vista frontalmente (Manovich 2001), per tendere ad uno schermo *monitor*, *bacheca*, *display*. Per comprendere meglio la funzione e il ruolo dei *physical display*, si rivela necessario ricercare il rapporto che hanno avuto lo schermo digitale e lo schermo fisico nella storia.

È utile cercare di comprendere gli elementi formati di uno schermo per permetterne una discussione riguardo l'evoluzione fisica (Ebsen 2010). La suddivisione proposta da Ebsen si traduce in *forma*, *cornice*, *tempo* e *reazione* o *ricezione*.

Forma

Lo schermo classico, come afferma anche Manovich nel passo prima citato (Manovich 2001), è una superficie piatta e rettangolare, forma presa “in prestito” da secoli di storia dell’arte, durante i quali le tele dei dipinti possedevano già queste caratteristiche. La spiegazione più naturale per spiegare questa tendenza innata a rappresentare le immagini su un rettangolo con il lato orizzontale più lungo è la struttura della vista umana, che permette una visione sull’asse orizzontale di circa 200-220° con entrambi gli occhi e su quello verticale di circa 130-135°, risultando in una vista “ovale”, che per semplicità di realizzazione è stata presto approssimata ad un rettangolo. In seguito ai dipinti, anche le pellicole per le fotografie e di conseguenza quelle cinematografiche, sono state prodotte con questo formato in mente. Tuttavia, non si può non citare il fatto che oltre al formato rettangolare *landscape*, è molto diffuso nell’arte, ma anche nelle nostre vite, il formato rettangolare *portrait* (che oggi giorno sta diventando quello predominante) e quello del *tondo*. È possibile anche ipotizzare delle difficoltà iniziali nel creare forme di schermi non rettangolari, ma, ad esempio, con perimetro curvo.

Cornice

Si attesta la presenza di cornici in legno già nei popoli egizi del Regno Antico, pensate per proteggere con un bordo rialzato i rilievi e le tavolette per scrivere o per dipingere e per sospendere le tavolette mediante chiodi e corde¹⁰. La funzione principale della cornice nei secoli è stata quella di separare il mondo fenomenico dalla rappresentazione pittorica, rendendo la cornice un oggetto ambiguo, che accentra o disperde lo sguardo, rinforza o pregiudica il contenuto (Scalabroni, *Forme e ruoli della cornice nella rappresentazione pittorica* 2008). Dall’antichità, la cornice, così come la forma, è arrivata fino allo schermo moderno, trasformandosi in un bordo che ne racchiude la superficie, agendo sia da separatore sia da mediatore tra immagine e contesto. La cornice ha un rapporto essenziale con ciò che si trova al suo interno, ma non attira su di sé lo sguardo, tanto che ci si ricorda della cornice di un quadro solo quando non compie la sua funzione, presentandosi da sola.

¹⁰ Enciclopedia Online Treccani, [voce “cornice”](#)

Tempo

Già con la Lanterna Magica si erano trovate delle soluzioni per proiettare su uno schermo delle immagini in movimento, create grazie all'uso di lastre sovrapposte¹¹. A partire dagli ultimi anni del XIX secolo, con i fratelli Lumière, si aggiunge in modo definitivo una terza dimensione alla rappresentazione sugli schermi, quella del tempo.

Ricezione

Marshall McLuhan, nell'intervista rilasciata a Playboy nel 1969, parla dell'immagine proveniente dallo schermo televisivo come una "rete a mosaico non solo di linee orizzontali ma di milioni di piccoli punti, dei quali lo spettatore è fisiologicamente in grado di afferrarne solo 50 o 60, dai quali dà forma all'immagine; così si trova a riempire costantemente immagini vaghe e confuse, inserendosi in un coinvolgimento profondo con lo schermo e recitando un costante dialogo creativo con l'iconoscopio. I contorni dell'immagine *cartoonesca* che ne risulta sono arricchiti dall'immaginazione dello spettatore, che necessita di un grande coinvolgimento e partecipazione personale; lo spettatore, in fondo, diventa lo schermo, mentre nel film era la cinepresa. Richiedendoci di riempire costantemente gli spazi della rete a mosaico, l'iconoscopio tatta il suo messaggio direttamente sulla nostra pelle. Ogni spettatore è così un inconsapevole pittore puntinista come Seurat, che dipinge nuove forme e immagini mentre l'iconoscopio si diffonde sul suo intero corpo" (McLuhan, The Playboy Interview, Marshall McLuhan 1969).

Secondo la teoria di McLuhan espressa in *Understanding Media: The Extensions of Man*, saggio pubblicato nel 1964, tutti i media (e tutte le nuove tecnologie in generale) sono da considerarsi come un'estensione delle funzioni del corpo. A differenza della televisione, che secondo McLuhan è prima di tutto un'estensione del senso del tatto, a causa della sua scarsa definizione ed intensità, la fotografia e il film sono invece da considerarsi estensioni della

¹¹ Marcel Proust, in "Alla ricerca del tempo perduto", nel Primo Capitolo, racconta che il Narratore, da bambino, aveva ricevuto in regalo dalla mamma e dalla nonna una lanterna magica a lastre sovrapposte ("[...] [il castello] non era altro se non il bordo di uno degli ovali di vetro inseriti nel telaio, che si faceva scorrere tra le scanalature della lanterna.") con la quale la sera guardava le storie della dinastia merovingia.

vista, poiché non implicano la partecipazione attiva dello spettatore, fornendo immagini più dettagliate e intense.

Seguendo la distinzione tra media caldi e media freddi, legata al grado di partecipazione che un media richiede in chi lo utilizza o ne fruisce, la televisione risulta essere quindi un media freddo, poiché la quantità di informazioni è limitata, la definizione è bassa, e il grado di partecipazione e di completamento da parte del pubblico è alta.

1.2.1. I tentativi di “evasione” in arte

Luisa Scalabroni, docente dell'Università degli Studi di Palermo (Scalabroni, *Forme e ruoli della cornice nella rappresentazione pittorica* 2005), porta l'esempio della *Vergine Annunciata*, di Antonello da Messina, opera del 1475 priva di cornice. “Una calcolata geometria prospettica e luminosa dialoga con lo spettatore guidandolo dentro lo spazio finzionale per poi ricondurlo nello spazio reale dove esso si trova a occupare la posizione dell'angelo annunziante”. In quest'opera, lo spazio pittorico e lo spazio reale si fondono tra loro e la presenza di una cornice avrebbe trasformato l'immagine in un “oggetto di contemplazione”, interferendo nel dialogo tra l'osservatore e l'opera.

I primi tentativi di “evasione” dalla superficie si possono trovare nel periodo barocco, periodo nel quale il *tromp-l'oeil*, espressione francese che significa “inganna l'occhio”, divenne largamente usato in dipinti e affreschi. Questa tecnica consiste nel raffigurare soggetti della vita reale studiando accuratamente prospettiva, luce e colori, in modo da dare l'illusoria sensazione di assenza di una superficie. Ne è un esempio la *Stanza degli sposi*, nel castello di San Giorgio a Mantova, opera del Mantegna, in cui un “occhio” buca il centro della volta e fa entrare, simbolicamente, la luce del sole. Degli stessi anni anche le tecniche di illusionismo pittorico che riescono ad aggiungere elementi architettonici ai palazzi, come ad esempio la cupola della chiesa dei gesuiti di Sant'Ignazio, percepita e vista come reale dal punto di vista dei fedeli, ma materialmente un perfetto dipinto prospettico su tela.

Nell'Ottocento iniziano anche i primi esperimenti per evadere la cornice, e portare il dipinto nello spazio dell'osservatore. La cornice viene riscoperta come

parte integrante dell'opera d'arte in grado di connettere il quadro con il mondo esterno, con la consapevolezza che non esisteva alcuna regola su come questa potesse essere utilizzata. L'opera più famosa di Pere Borrell del Caso, *Sfuggendo alla critica*¹², raffigura un ragazzo che si sta facendo strada attraverso la cornice del dipinto, con gli occhi spalancati dallo stupore per il suo primo sguardo al mondo reale. La "cornice" è dipinta e fa parte dell'opera, aumentando il senso di fuga dall'irreale verso il mondo tangibile.



Figura 3. *Sfuggendo alla critica*, Pere Borrell del Caso, Collezione Banco de España, Madrid

Salvator Dalì, nella sua opera (*Coppia con le teste piene di nuvole*) utilizza la cornice per creare i contorni del quadro stesso. I soggetti sono rappresentati unicamente dalla forma della tela, mentre all'interno dei confini delle cornici viene rappresentato il paesaggio, rivisitando così l'idea rinascimentale della finestra su un altro mondo.

¹² Pere Borrell del Caso (Puigcerdà, 1835 – Barcellona, 16 maggio 1910) è stato un pittore, illustratore e incisore spagnolo, insegnante di disegno e di pittura. È noto principalmente per la sua opera "Escapando de la crítica" (Sfuggendo alla critica), del 1874, conservata nella collezione del Banco de España a Madrid.



Figura 4. Coppia con le teste piene di nuvole, Salvador Dalí, 1936

Il Novecento dà vita a diversi movimenti artistici che mettono in forte discussione il ruolo della cornice e della superficie in un'opera. Uno dei primi casi in cui la superficie viene annullata è la tecnica del collage, che ha inizio nel secondo decennio del Novecento con Picasso, Braque e il cubismo. In Italia i *papiers collés* furono ben presto accolti dal movimento Futurista: nelle opere di Boccioni divennero un modo per arricchire il quadro, Carrà li utilizzava nella creazione dei dipinti "paroliberi", Balla invece ricercava la tridimensionalità. Apollinaire scrive che "I pittori [cubisti] si sono trovati indotti con la maggiore naturalezza e, per così dire, intuitivamente, a preoccuparsi di nuove possibili misurazioni della dimensione, che nel linguaggio dei moderni studi di pittura vengono complessivamente e concisamente definite col termine di quarta dimensione. [...] essa rappresenta l'immensità dello spazio che, in un momento determinato, si slancia verso l'infinito in tutte le direzioni" (Apollinaire 1913).

La tecnica del collage è stata ripresa in seguito anche dal movimento Dada e dal Surrealismo, includendo nelle opere anche materiali diversi dalla carta. Robert Rauschenberg produsse i Combines tra il 1953 e il 1964, opere ibride che associano pittura, *collage* e *assemblage* di una vasta gamma di oggetti della vita quotidiana. I Combines invadono lo spazio dello spettatore richiedendo la sua attenzione sia visiva sia uditiva, grazie alle analogie tra arte visiva e musica sviluppate grazie all'aiuto dell'amico John Cage. Nell'opera "Pilgrim"¹³,

¹³ Robert Rauschenberg, *Pilgrim*, 1960, olio, grafite, carta, carta stampata, tessuto su tela con una sedia in legno verniciata, 79 1/4 x 53 7/8 x 18 5/8 inches (201.3 x 136.8 x 47.3 cm), collezione privata

del 1960, vengono combinati olio, grafite, carta, carta stampata, tela e una sedia di legno verniciata, quest'ultima posta di fronte alla tela, estendendo l'opera nella stanza e connettendo visivamente la superficie del quadro con lo spazio circostante.



Figura 5. Pilgrim, Robert Rauschenberg, 1960

Jasper Johns, che insieme a Rauschenberg andò contro l'Espressionismo astratto che dominava l'arte degli Stati Uniti negli anni Cinquanta, nella sua opera "Three Flags" del 1954 rappresenta per tre volte la bandiera americana attraverso l'uso di una miscela di pigmenti sospesi in cera calda. Questa tecnica, chiamata encausto, crea un accumulo di colore ad ogni pennellata, proiettando l'immagine verso l'esterno, contraddicendo l'idea classica di prospettiva e superficie pittorica, esplorando il confine tra astrazione e rappresentazione. Come ha osservato l'artista, questo dipinto gli ha permesso di "superare i limiti della bandiera e di avere uno spazio diverso sulla tela".¹⁴

¹⁴ Tratto dalla descrizione dell'opera redatta dal [Whitney Museum of American Art](#), dove si trova esposta "Three Flags"



Figura 6. Three Flags, Jasper Johns, Whitney Museum of American Art, 1958

Lucio Fontana, pittore e scultore italo-argentino tra i grandi protagonisti del Novecento, è riconosciuto come il padre dello Spazialismo. L'artista perseguì sempre l'idea di una conquista dello spazio, prendendo come spunto le opere e le riflessioni di Umberto Boccioni, artista che riteneva fosse riuscito a dare inizio ad una scoperta della quarta dimensione (Finestre sull'Arte 2021). L'idea dei noti buchi e tagli nasce dalla necessità di conquista dello spazio, un'esigenza dell'arte del futuro, "trasmissibile nello spazio" e che viva nel suo tempo. Nel Secondo Manifesto dello Spazialismo, del 1948, si legge: "non intendiamo abolire l'arte del passato o fermare la vita: vogliamo che il quadro esca dalla sua cornice e la scultura dalla sua campana di vetro" (Fontana, et al. 1948).

A partire dai movimenti artistici del Novecento, in particolare dal Dada, nascono i primi esperimenti di arte cinetica e i primi usi del movimento e dell'interazione degli spettatori nelle installazioni artistiche.

1.3. Il pixel e la frammentazione dell'immagine

Il pixel, contrazione di *picture element*, rappresenta il blocco minimo di informazione in un'immagine digitale¹⁵. Gli schermi che siamo abituati a utilizzare ed osservare al giorno d'oggi sono composti da migliaia, o più frequentemente milioni, di punti luminosi posti uno di fianco all'altro in modo da creare una matrice, che il nostro sistema visivo interpreterà come colori e forme.

Rudolf Arnheim, è stato uno scrittore, storico dell'arte e psicologo che nel XX secolo iniziò per primo ad applicare la psicologia della Gestalt (studiò con Wertheimer¹⁶ a Berlino) a tutti i campi dell'arte (non solo pittura e architettura, ma anche musica, cinema e nuovi media). Arnheim ha elaborato il concetto del *visual thinking* ("pensiero visivo"), che si basa sull'idea che vede i sensi operare in modo attivo alla costruzione e percezione delle immagini, orientando il nostro pensiero alla formazione di concetti. Le ricerche si possono trovare in *Gestalt and Art*, *Art and visual perception* e *Visual Thinking*, testi in cui l'autore riduce la distanza tra scienza e arte.

Una serie di punti luminosi uno in fila all'altro hanno poco a che fare con una rappresentazione matematica di un tratto continuo sottile e rettilineo, eppure noi crediamo di vedere una linea retta. La spiegazione di questo fenomeno si può trovare nei sette principi della psicologia della Gestalt: *vicinanza*, *somiglianza*, *continuità di direzione*, *figura-sfondo*, *destino comune*, *chiusura* ed *esperienza passata*. Ad esempio, un insieme di punti luminosi vicini verranno intesi come parte di un'unica forma, così come se posti in fila, ci porteranno alla mente una linea retta. Una teoria della corrente psicologica è proprio che "le persone percepiscono e interpretano le immagini ambigue o complesse nella forma più semplice possibile". Come afferma la frase più nota della psicologia della Gestalt "il tutto è più della somma delle singole parti", la mente umana riconosce i singoli elementi di una composizione come

¹⁵ Definizione tratta dalla Enciclopedia Treccani Online, [voce "pixel"](#)

¹⁶ Max Wertheimer fu uno dei maggiori esponenti della Psicologia della Gestalt insieme a Wolfgang Köhler e Kurt Koffka. Dal 1916 al 1925 insegnò alla Friedrich Wilhelm University di Berlino, dove fu professore di Arnheim.

un insieme per comprendere la realtà e lo stesso processo mentale avviene quando si osservano degli schermi composti da singoli punti luminosi.

Gli schermi cinetici di cui si vuole approfondire la trattazione, in particolare, sono caratterizzati da una risoluzione bassa, che raramente supera qualche migliaio di pixel. Seguendo la teoria di McLuhan espressa in precedenza, l'utilizzo di una quantità limitata di pixel rende uno schermo un *medium freddo*, più partecipativo, che coinvolge molteplici canali sensoriali, lasciando spazio al fruitore e richiedendo di completare la portata informativa con una partecipazione attiva. "La nostra epoca è piena di casi che confermano il principio secondo il quale la forma calda esclude e la forma fredda include" (McLuhan e Lapham, *Understanding Media: The Extensions of Man* 1994).

L'esplorazione della bassa risoluzione che viene svolta nella progettazione degli attuali schermi fisici, può essere comparata a quella dell'epoca bizantina, di cui i caratteristici mosaici costituiscono uno dei primi esempi di *pixelation*. Nient'altro se non una griglia di pixel-tessere, i mosaici possono essere visti come l'antenato della digitalizzazione delle immagini, una forma di "campionamento" pittorico, dove al posto dei bit si trovano tessere colorate. I soggetti policromi erano i più comuni, ma sono noti anche esempi monocromi.

Un altro grande esempio di applicazione della *pixelation* si può incontrare a fine Ottocento con la corrente artistica del puntinismo, conosciuto anche con il termine *pointillisme*, attribuito da Félix Fénéon. I puntinisti decisero di accostare i colori sulla tela, in modo che la fusione cromatica avvenisse nella retina dell'osservatore, lasciando da parte la tavolozza dove si mescolano i colori. Esattamente come accade su un monitor, il metodo di pittura del puntinismo è razionale, distaccato, metodico.

Come accennato nel paragrafo precedente, anche Marshall McLuhan fa riferimento a Seurat, accostandolo alla figura dello spettatore, inconsapevole pittore puntinista che dipinge nuove forme ed immagini mentre guarda la televisione (McLuhan, *The Playboy Interview*, Marshall McLuhan 1969). Secondo il professore canadese, Seurat e i puntinisti occupano una posizione privilegiata nella storia dell'arte come "fulcro dell'arte tra il visivo rinascimentale e il tattile moderno" (McLuhan, *Through the Vanishing Point*:

Space in Poetry and Painting 1968) e veri e propri precursori del televisore e degli schermi di oggi. Nel libro *Through the Vanishing Point: Space in Poetry and Painting* McLuhan disse di Seurat che "utilizzando l'analisi newtoniana della frammentazione della luce, arrivò alla tecnica del divisionismo, per cui ogni punto di pittura diventa l'equivalente di una vera e propria fonte di luce, un sole, per così dire. Questo dispositivo inverte la prospettiva tradizionale rendendo lo spettatore il punto di fuga". Il pittore francese ha infatti abolito una volta per tutte l'illusione che lo spazio sia neutro o che si possa vivere fuori dal mondo tecnologico (Kroker 1995). Secondo McLuhan, Seurat ci ha presentato un'immagine visiva bruciante dell'epoca dell'"oggetto ansioso", tema¹⁷ che attraversa diverse volte gli studi del pensatore canadese.



Figura 7. George Seurat, Una domenica pomeriggio all'isola della Grande-Jatte, 1884 – 1886, Chicago Art Institute

¹⁷ Secondo l'autore la società tecnologica è ricca di fonti di ansia e di stress, tanto da essersi "trasformata nella sua controfigura, l'era terapeuticamente reattiva dell'anomia e dell'apatia" (McLuhan, The Playboy Interview, Marshall McLuhan 1969)

1.4. Gli antenati dei physical displays

Due sono gli ambiti nei quali si possono ricercare gli antenati degli schermi fisici, quello artistico e quello della segnaletica, dalla cartellonistica a scopo pubblicitario ai tabelloni per il trasporto pubblico.

Le prime tracce di segnaletica digitale si possono datare agli anni Venti, ben prima degli schermi che oggi siamo abituati a vedere. Si può affermare che i *billboard*, ovvero i cartelloni, tendono a rispecchiare la tecnologia dei tempi (Egan 2021), ed in quegli anni iniziarono a comparire le prime targhe mobili con all'interno delle lampadine, utilizzate per annunciare le notizie ai passanti.

Times Square è nota come la piazza più ambita per posizionare i propri cartelloni dall'inizio Novecento, più di mezzo secolo prima che arrivassero i giganteschi schermi LED, ed è proprio lì che le tecnologie più all'avanguardia furono utilizzate. La spettacolarità delle pubblicità nel centro di Manhattan ha spesso eliminato i confini tra il cartellone e la scultura. Del 1941 è la nota pubblicità delle sigarette Camel, rimasta nella piazza per 26 anni, che utilizzava del vapore per simulare il fumo uscente dalla bocca dell'uomo raffigurato, con una scultura di un pacchetto di sigarette e la scritta "Camel" che brillava grazie a moltissime lampadine.

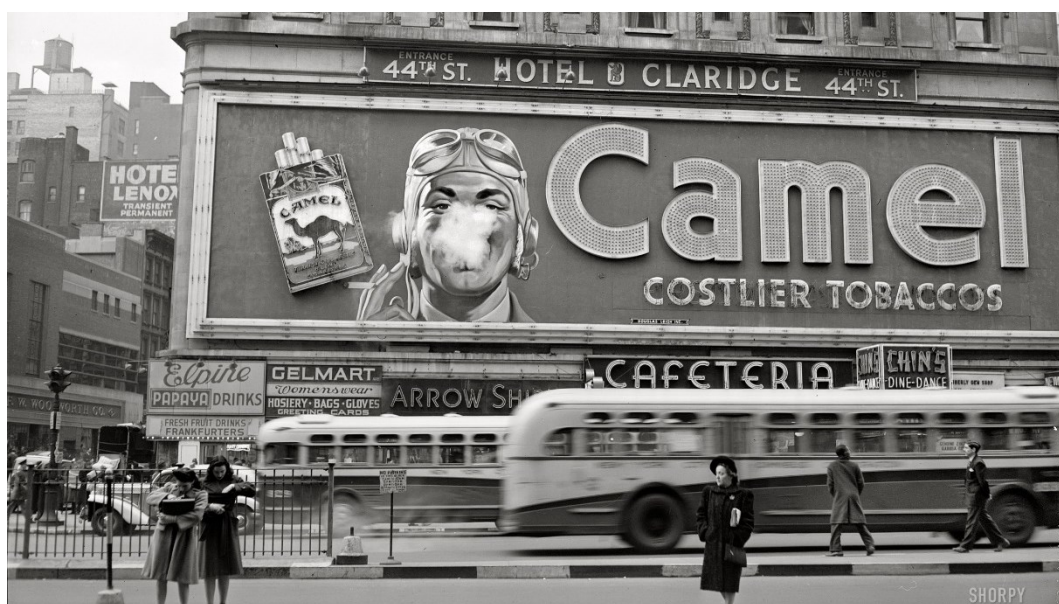


Figura 8. Il famoso "smoking billboard" di Camel a Times Square in una fotografia del 1943

Sempre negli anni Quaranta, grazie all'avvento della programmazione meccanica, fanno la loro comparsa i *vane displays*, una tipologia di schermo fisico a sette segmenti, composto da sette elementi rotanti (*vane* significa "banderuola", "segnavento"). Il funzionamento di questi schermi è molto simile a quello dei flip-disc, come si vedrà più avanti, e consiste nella rotazione di alcuni dei segmenti che sono da un lato colorati di nero e dall'altro di un colore chiaro, in modo da formare il numero desiderato. Questa tecnologia è stata largamente usata nei trasporti, nell'annuncio dei tabelloni orari e delle destinazioni del trasporto pubblico, ma anche nei tabelloni di stadi e palazzetti per segnare i punteggi delle squadre in campo.

Negli stessi anni le città iniziano a popolarsi di nuovi cartelloni lampeggianti, che si accendono e spengono ad intermittenza per attirare l'attenzione del pubblico, allo stesso tempo portando l'attenzione su determinate parti delle insegne.

Negli anni Cinquanta si diffonde anche l'uso dei Trivision, dei tabelloni composti da prismi triangolari posti all'interno di una cornice. Ruotando di 120° gradi alla volta, i prismi possono mostrare tre immagini separate. I Trivision, anche noti come display prismatici, Rotapanel, Tri-face, erano utilizzati principalmente come insegne commerciali, sia all'interno sia all'esterno, comunemente lungo le autostrade e nei centri urbani.

Nel 1967 venne registrato il trademark "Audio-Animatronics" dalla Walt Disney Imagineering¹⁸, vere e proprie macchine che diedero nuovo impulso all'animazione meccanica, integrando audio e movimento. Questi nuovi dispositivi furono ideati principalmente per gli spettacoli e le attrazioni dei parchi tematici di Walt Disney, il più famoso dei quali, in California, aprì negli anni Cinquanta. Molto presto gli animatronics iniziarono ad essere parte di diverse installazioni, come lo spettacolo *Great Moments with Mr. Lincoln*, del 1965 e *It's a small world*, del 1964.

Un altro ambito nel quale gli schermi fisici sono stati utilizzati largamente prima dell'avvento di quelli digitali è stato quello delle borse valori. Il primo

¹⁸ La Walt Disney Imagineering Research & Development, Inc. è il ramo di ricerca e sviluppo della Walt Disney Company responsabile e specializzato nella creazione, progettazione e costruzione dei parchi a tema e delle attrazioni Disney in tutto il mondo, fondata nel 1957.

mezzo di comunicazione finanziaria che facesse uso dell'energia elettrica è stato il *ticker tape*, o nastro telegrafico. In uso dal 1870 al 1970 circa, questo vero e proprio nastro trasmetteva informazioni sui prezzi delle azioni tramite le linee telegrafiche.



The stock "tape" as it comes from the "ticker."

Inventato nel 1867, il *tickertape* era un nastro di carta largo un pollice sul quale la macchina "ticker" registrava le quotazioni azionarie inviate tramite telegrafo. Le società di brokeraggio della Lower Manhattan presto si rifornirono di macchinari in grado di stampare su questi nastri i messaggi inviati, sfruttando la tecnologia delle stampanti per telegrafo, ma convertendo il codice Morse (composto di punti e linee) in testo leggibile. Sui nastri si potevano trovare una serie di simboli (lettere e numeri) che rappresentavano l'abbreviazione dei nomi delle aziende, seguiti da informazioni riguardo il prezzo delle azioni. Con il passare degli anni versioni sempre più veloci e performanti si susseguirono, come la "Universal stock ticker", sviluppata da Edison nel 1873, per la Gold & Stock Telegraph Company (National Museum of American History s.d.), della quale vennero venduti più di cinquemila esemplari in soli quattro anni (Engineering and Technology History Wiki 2015). Con il Giovedì Nero del 1929, anche le macchine *ticker* iniziarono il loro calo di popolarità, a causa anche della disponibilità dei primi display elettronici, fino diventare obsolete e sparire negli anni Sessanta. Sulla New York Times Tower a Manhattan si possono trovare degli schermi che simulano i nastri telegrafici, indicando i reali andamenti azionari.

Un'altra tecnologia che si è sviluppata intorno sia al mondo delle borse valori sia a quello del trasporto pubblico è quella dei teleindicatori a palette, o *split-flap display*, dispositivi elettro-meccanici con set di caratteri preimpostati. Anche noti come indicatori Solari, dal nome dell'azienda che per prima li ideò, Solari di Udine S.p.a., questa tipologia di schermi iniziò a comparire negli anni Cinquanta in alcune stazioni delle Ferrovie dello Stato italiano. Questo modello di tele-indicatore è composto da delle palette serigrafate montate su un rullo che ruotando permette l'esposizione di una precisa coppia di palette, che unite formano il carattere o la parola desiderata. Negli anni Sessanta l'aspetto del tele-indicatore raggiunge lo standard che tutti conoscono oggi: i caratteri diventano bianchi su fondo nero, scritti in carattere Helvetica e l'asse di rotazione dei rulli è orizzontale. Inoltre, iniziano a comparire moduli di lettere singole, in modo da ottenere una migliore versatilità e modularità.



Le principali caratteristiche che rendono gli *split-flap* migliori rispetto ai display tradizionali diffusi in quegli anni erano il consumo di energia minimo o nullo quando il display rimane in uno stato statico e un'elevata visibilità da un'ampia gamma di angoli di osservazione nella maggior parte delle condizioni di illuminazione. Inoltre, la componente sonora creata dalla rotazione delle palette, il caratteristico *clacking*, aveva anche la funzione di richiamare l'attenzione di chi si trovava nelle vicinanze in modo da portare lo sguardo allo schermo, sul quale venivano aggiornate le informazioni. Come per il caso dei nastri telegrafici, l'avvento degli schermi a matrice LED o TFT, più

versatili e che richiedono meno manutenzione, ha in poco tempo provocato la scomparsa della tecnologia precedente dei tele-indicatori a palette.

Negli anni Sessanta l'azienda Ferranti-Packard inventò la tecnologia *flip-disc*, destinata anch'essa all'uso nei tabelloni del trasporto pubblico e nelle borsa valori. Questo tipo di schermi consistono di una moltitudine di piccoli dischi magnetici con le facce colorate di colori diversi, in grado di ruotare azionati da un elettromagnete. Combinandosi, i dischi solitamente bianchi (accesi) e neri (spenti), possono creare lettere, numeri e forme. Questo tipo di tecnologia verrà presa in esame in modo più approfondito nei capitoli successivi.

Gli schermi fisici vennero anche utilizzati, seppur con poche testimonianze, nell'industria cinematografica, in modo particolare nell'ambito dell'animazione. Negli anni Settanta iniziò ad essere usata la tecnica della *pinscreen animation*, che sfrutta uno schermo fisico per creare delle immagini in movimento. Lo schermo è composto da una grande quantità di fori al cui interno sono poste delle puntine, in grado di muoversi avanti e indietro. Attraverso la pressione dei *pin* contro la superficie dello schermo, servendosi eventualmente di strumenti esterni appositamente progettati, si creeranno dei pattern che andranno poi a formare le immagini. Lo schermo è infatti illuminato da una precisa angolazione laterale in grado di gettare un'ombra più o meno evidente in base alla sporgenza degli spilli. In questo modo, lo schermo bianco diventa più scuro quando i perni sono spinti all'esterno, sporgendo dalla superficie. Più i perni vengono spinti verso l'interno, meno ombre vengono proiettate e più lo schermo diventa chiaro, passando dai toni di grigio.

Questa tecnica è stata utilizzata per creare diversi film d'animazione e effetti di *texture* difficilmente ottenibili con altre tecniche. Gli inventori e sviluppatori di questa tecnica sono Alexandre Alexeïeff e sua moglie Claire Parker, che iniziarono gli studi su questa modalità di animazione negli anni Trenta, a Parigi. La presentazione del *pinscreen* al National Film Board of Canada nel 1972 è stata filmata ed in seguito pubblicata come documentario con titolo *Pin Screen* (McLaren 1973). Nel documentario è possibile capire quale fosse la tecnica di animazione. Secondo Clair Parker, le immagini create rendevano possibile la creazione di film di animazione che si allontanassero dall'aspetto piatto, da fumetto, avvicinandosi invece al drammatico e poetico chiaroscuro.

Alcune delle creazioni rese possibili dall'uso del *pinscreen* sono la sequenza di apertura di *The Trial*, film di Orson Welles del 1962 basato sulla novella omonima di Kafka, e il film muto *Mindscape (La paysagiste)*, di Jacques Drouin del 1976, prodotto dal National Film Board of Canada (Drouin 1976), che vinse 18 premi di animazione.



Figura 9. Claire Parker (sinistra) e Alexandre Alexeïeff (destra), inventori della pinscreen animation. (NFB)

1.4.1. Arte cinetica

Le origini dell'arte cinetica possono essere fatte risalire all'inizio degli anni Venti, con il movimento del Futurismo. I protagonisti del movimento artistico, Boccioni e Balla, erano ossessionati dal desiderio di immortalare sulla tela una rappresentazione del movimento. Nel Manifesto del Futurismo (Marinetti 1909), il terzo punto sottolinea le intenzioni degli autori di voler "esaltare il movimento aggressivo, l'insonnia febbrile, il passo di corsa, il salto mortale, lo schiaffo ed il pugno". Un altro movimento che getta le basi dell'arte cinetica è il Costruttivismo, del quale gli artisti russi Naum Gabo e Vladimir Tatlin rappresentano i primi esponenti. L'opera *Kinetic Sculpture* di Gabo del 1920 consiste in una porzione di cavo alimentata elettricamente che oscilla rapidamente da un lato all'altro, creando un'illusione di movimento della materia solida. Tatlin, dopo essere stato in contatto con Picasso e gli ambienti dei Futuristi, creò i *Controrilievi*, "pezzi concreti" del mondo, realizzazioni

polimateriche nella cui tridimensionalità vengono sintetizzati spazio, tempo e movimento.

La prima figura prominente nel campo dell'arte cinetica è stata Alexander Calder, esponente per più di vent'anni del neonato movimento. L'opera *Arc of Petals*, del 1941 presentava un movimento creato dalle correnti d'aria. Secondo Calder, l'arte cinetica voleva "dimostrare innegabilmente che l'arte non è rigida", sfruttando il movimento meccanico o naturale per creare un nuovo rapporto tra arte e tecnologia, ispirandosi fortemente anche al movimento artistico "Dada" e rompendo le convenzioni delle opere d'arte statiche tradizionali.

L'artista più famoso nel campo dell'arte cinetica è stato Jean Tinguely, scultore e pittore svizzero che divenne presto noto al pubblico per l'utilizzo di oggetti di scarto raccolti per realizzare le sue sculture. Tinguely era affascinato dal movimento e dal modo in cui esso poteva influenzare il modo in cui un oggetto viene visto; per questo amava collegare dei motori agli oggetti per farli ruotare e talvolta anche autodistruggersi. Le illusioni ottiche e il movimento meccanico venivano combinati per produrre sensazioni di mobilità.

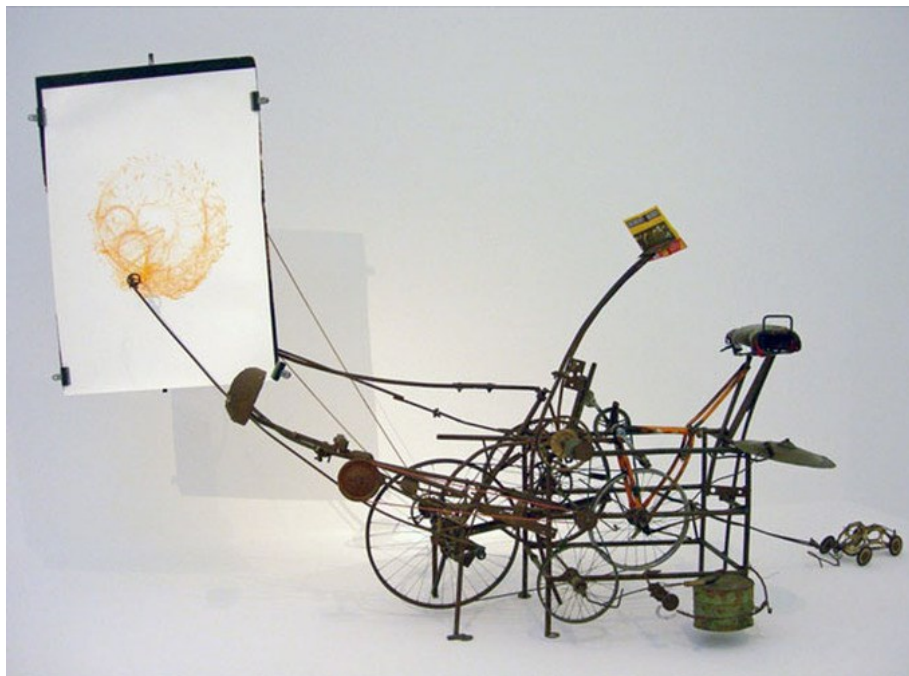


Figura 10. Cyclograaveur, Jean Tinguely, 1959

Dimenticata per qualche anno, nel 1955 l'arte cinetica divenne un successo internazionale e venne riconosciuta ufficialmente come movimento artistico con la mostra collettiva *Le Mouvement*, presso la *Galerie Denise René* di Parigi. All'esposizione presero parte numerosi artisti, tra cui i già noti Alexander Calder, Marcel Duchamp, Jean Tinguely, e i nuovi Pol Bury, Jesús Rafael Soto e Victor Vasarely. I successi riscossi dall'arte cinetica continuarono anche a Venezia, Sao Paulo, Parigi, e portarono al fiorire dell'“era d'oro” del movimento.

Attraverso il movimento meccanizzato nelle opere, gli artisti iniziarono ad abbracciare la tecnologia, diffondendola nella vita quotidiana ed esplorandone una nuova relazione con l'arte. Il cinetismo si diffuse in diverse forme d'arte: pittura, disegno e scultura furono solo alcuni dei mezzi utilizzati per trasmettere l'arte del movimento. Man mano che il concetto di movimento veniva accettato dal mondo artistico, lo spirito di avanguardia iniziò ad affievolirsi e fu così che il successo e l'accettazione a livello mondiale fu in realtà causa della caduta del movimento artistico. L'interesse per l'*Optical Art* e le forme d'arte digitale portarono all'abbandono dell'arte cinetica negli anni Settanta.

Pur trattandosi di un movimento artistico che non è riuscito ad affermarsi ed ad essere riconosciuto internazionalmente da tutta la critica, le sue influenze sull'arte e il design di oggi sono innegabili. Le opere degli artisti citati costituiscono risorsa di ispirazione per diversi artisti moderni e contemporanei.

Il rapporto tra tecnologia e arte è di centrale importanza nel campo delle opere cinetiche che verranno presentate in seguito. Per quanto apparentemente lontana dal concetto di schermo convenzionale, l'arte cinetica pone le basi concettuali che porteranno all'utilizzo di elementi fisici come strumenti per la visualizzazione di informazioni.

1.5. L'Embodiment

Embodiment è un termine che negli anni è stato usato in una grande varietà di campi diversi, come la psicologia (Wilson 2002), le scienze cognitive (Kirsh 2009), la sociologia (Csordas 1995), la filosofia (Clark 1998), l'intelligenza artificiale (Andreson 2003), ed è stato portato nel mondo delle HCI da Dourish,

con il suo studio espresso nel libro *Where the action is, the foundations of embodied interaction*, del 2001. In questa tesi, l'*embodiment* si manifesta sia nell'aspetto visivo del display informativo con le rispettive manifestazioni fisiche, sia nei rispettivi sistemi di controllo.

L'*embodiment* non è quindi affatto una idea nuova, è stato infatti un tema centrale per il pensiero filosofico di diversi anni, fattore che collega lo studio delle interfacce uomo-computer ad un più grande insieme di studi umanistici, permettendo di comprenderlo ancora più a fondo.

Nella sua opera, Dourish vuole delineare un nuovo modello per il design delle interfacce HCI, dimostrando come poter mettere in relazione diverse ricerche nell'ambito dei sistemi interattivi. L'*embodiment* è definito non come una proprietà dei sistemi o delle tecnologie, ma una proprietà dell'interazione. La "materializzazione" trova le sue radici nelle diverse modalità con cui le persone e le tecnologie partecipano nel mondo, le nostre azioni infatti non possono essere separate dai significati che gli attribuiamo.

1.5.1. Social computing e tangible computing

La nozione di *embodiment* presentata da Dourish ricopre due grandi aree della ricerca sui sistemi interattivi: il *tangible computing*, tentativo di spostare la computazione fuori dalla classica "scatola sul tavolo" nell'ambiente, e *social computing*, applicazione di metodi sociologici e analitici all'uso del computer.

L'interazione sociale e quella tangibile si basano sugli stessi principi di base e sfruttano entrambe la nostra familiarità e facilità con il mondo quotidiano. Condividono la consapevolezza che non è possibile separare l'individuo dal mondo in cui vive e agisce. La nuova prospettiva proposta si contrappone all'approccio cartesiano positivista che opera una forte separazione tra la mente, sede della coscienza e del processo decisionale razionale, e il mondo esterno, oggettivo, come insieme sostanzialmente stabile di oggetti ed eventi. Secondo Dourish, un cervello disincarnato non potrebbe sperimentare il mondo nello stesso modo in cui lo sperimentiamo noi, perché la nostra esperienza del mondo è intimamente legata ai modi in cui agiamo in esso.

Nel secondo capitolo, *Getting in touch*, l'autore indica diverse alternative esplorate nella comunità di ricerca e che si discostano dal modello dominante del personal computing (*desktop-based*), come ad esempio il programma di ricerca "*Ubiquitous Computing*", del Computer Science Lab dello Xerox PARC, negli anni Settanta. Secondo Mark Weiser, direttore del laboratorio, i continui sviluppi tecnologici, in particolare nei dispositivi mobili e a basso consumo, avrebbero trasformato la natura dei computer e il modo in cui interagiamo con essi. La sua visione di "elaborazione dei dati diffusa" comprendeva pareti, pavimenti, penne e scrivanie potenziate dal punto di vista computazionale, in cui la potenza del calcolo poteva essere integrata senza soluzione di continuità negli oggetti e nelle attività della vita quotidiana.

Non solo la scienza accademica ha contribuito allo sviluppo del *tangible computing* ma anche le prospettive dell'arte e del design.

L'obiettivo della trattazione non è quello di fornire un catalogo delle tecnologie informatiche tangibili, ma piuttosto di presentare un campione di sistemi sviluppati e di iniziare a cercare alcune caratteristiche comuni del loro design. Le tre caratteristiche evidenziate da Dourish sono l'assenza di un singolo punto di controllo o di interazione, la trasformazione della natura sequenziale dell'interazione e l'uso di proprietà fisiche dell'interfaccia per suggerirne l'uso. Quest'ultima caratteristica del design dell'interazione tangibile è già posseduta da altre forme di design di prodotti fisici e può essere anche un modo per gestire le problematiche sequenziali menzionate.

Per *social computing*, si intende l'applicazione di conoscenze sociologiche alla progettazione di sistemi interattivi. Nel momento in cui la tecnologia interattiva entra nello scenario sociale, si rende subito parte dell'ambiente, e le caratteristiche specifiche di ciascuna tecnologia e il modo in cui vengono impiegate e utilizzate, introducono trasformazioni nella conduzione dell'azione quotidiana.

Dourish e Graham Button hanno coniato il termine *tecnometodologia* per descrivere una relazione più profonda tra design ed *etnometodologia*¹⁹. Il

¹⁹ L'etnometodologia è una scuola sociologica fondata da Harold Garfinkel che si basa sui concetti di indicialità e riflessività, ovvero sull'idea che il senso di ogni affermazione contiene qualcosa in

modello proposto cerca di attingere non semplicemente da una serie di osservazioni di specifici contesti lavorativi, ma piuttosto alle intuizioni fondamentali dell'etnometodologia sull'organizzazione dell'azione come risposta improvvisata, naturale, momento per momento, a problemi pratici. Inoltre, cerca di mettere in relazione queste conoscenze non semplicemente con la progettazione di uno specifico sistema interattivo destinato a un ambiente specifico, ma piuttosto con i principi fondamentali di base attorno ai quali vengono sviluppati i sistemi software.

La tecnologia è il medium o l'insieme di medium che viene usato maggiormente (e sempre di più) per svolgere le attività quotidiane. Sebbene siamo abituati ai modi in cui il mondo fisico media le nostre azioni e forma un ambiente le cui caratteristiche sono prevedibili, i sistemi tecnologici con la loro natura intrinsecamente disconnessa dal mondo reale possono trasformare le azioni in modo imprevedibile. Per questo motivo la questione chiave è capire come viene elaborato il rapporto tra tecnologia e azione sociale nelle diverse situazioni, e comprendere come sono correlate le caratteristiche del design tecnologico e le caratteristiche dei contesti sociali quotidiani.

1.5.2. "*Being-in-the-world*"

Il nostro mondo quotidiano è composto da interazioni sociali e fisiche e in quanto esseri umani, siamo inevitabilmente immersi in un "mondo di oggetti fisici". Gli elementi delle nostre esperienze quotidiane prendono significato dalle reti di interazioni sociali e dalle nostre esperienze. Secondo Dourish si può affermare che noi e le nostre azioni siamo quindi "incarnati" (*embodied*) nel mondo di tutti i giorni.

Una prima definizione che l'autore fornisce del concetto di *embodiment* è la seguente:

più rispetto al significato letterale e che un'affermazione sia riferibile solo a sé stessa e non faccia riferimento a nessuna realtà diversa da sé stessa. Il nome sta ad indicare l'insieme dei metodi di cui i membri di un gruppo etnico si servono per comprendere la loro attività.

*Embodied phenomena are those that by their very nature occur in real time and real space.*²⁰

Dourish prosegue l'approfondimento sulla relazione tra *tangible computing* e *social computing* sottolineando la differenza tra l'uso del mondo reale come metafora, condizione alla quale siamo più che abituati dall'esistenza di scrivanie, finestre, bottoni, mondi virtuali nelle interfacce odierne, e il mondo reale come medium per l'interazione con quello virtuale. Le metafore possono essere utilizzate per suggerire e guidare le azioni, aiutare a comprendere le informazioni e come utilizzarle, ma la nostra reale esperienza quotidiana è diversa, noi abbiamo pieno controllo del nostro corpo, il quale occupa un suo spazio nel mondo. È fondamentale quindi distinguere tra l'interazione nel mondo in cui abitiamo e l'osservazione "disconnessa" e il controllo su altri, come accade con le metafore.

L'*embodiment* e il *tangible computing* cercano di concentrarsi e sfruttare al meglio le nostre abilità fisiche e la nostra familiarità con gli oggetti del mondo reale.

L'interazione fisica con sistemi virtuali, la *physical interaction*, permette di ragionare sulla relazione tra fisico e simbolico, reale e digitale, ma anche tecnico e sociale. Questo tipo di elaborazione e interazione è di particolare interesse proprio perché non è puramente fisica, ma piuttosto una realizzazione fisica di una realtà simbolica. Pensando al ruolo di un designer di interfacce fisiche, che verrà esplorato in seguito, l'interesse principale non sarà quindi come mappare le rappresentazioni simboliche in controparti fisiche, ma come gestire e controllare la relazione tra le due. L'obiettivo sarà quindi trovare delle modalità per le quali i modelli di interazione fisica possano reggersi ed essere da supporto a quelli simbolici.

L'*embodiment* non è affatto una idea nuova, è stato infatti un tema centrale per il pensiero filosofico di diversi anni, fattore che collega lo studio delle interfacce uomo-computer ad un più grande insieme di studi umanistici, permettendo di comprenderlo ancora più a fondo. In particolare, il "trovarsi nel

²⁰ "I fenomeni embodied sono quelli che per loro natura si verificano nel tempo e nello spazio reali."

mondo” è stato un argomento di studio centrale nella filosofia fenomenologica del diciannovesimo secolo. Diversi autori hanno dato largo spazio allo studio dell’idea di un mondo che conosciamo e di cui facciamo esperienza in modo diretto piuttosto che in modo astratto, ragionando sulle fonti del significato delle cose, da ricercare non in raccolte di entità astratte, ma nel mondo reale, in cui agiamo quotidianamente.

La presenza nel mondo comprende sia quello fisico sia quello sociale. Diversi teorici hanno riconosciuto l’importanza della nostra presenza fisica nel mondo come spiegazione centrale di come agiamo e reagiamo. In particolare, nelle HCI, i lavori di Gibson e di Norman esplorano la relazione tra *seeing* e *acting* (osservare e agire), delineando anche il concetto di *affordance*, proprietà dell’ambiente che permette l’azione con i sistemi. L’*affordance* è una relazione tra ambiente, organismo e attività, cuore del “*being in the world*”.

Per riassumere il concetto di *embodiment*, Dourish fornisce due nuove definizioni:

*Embodiment is the property of our engagement with the world that allows us to make it meaningful.*²¹

*Embodied Interaction is the creation, manipulation, and sharing of meaning through engaged interaction with artifacts.*²²

La nozione fondamentale indicata dall’autore ricavata dalla fenomenologia è che l’*embodiment* riguarda la relazione tra azione (*action*) e significato (*meaning*).

1.5.3. I principi dell’ *embodied design* secondo Dourish

In seguito ad una accurata trattazione teorica, Dourish delinea le implicazioni e le conseguenze progettuali dell’approccio *embodied* cercando di capire quali siano i principi alla base del *computing* tangibile e sociale e quali implicazioni potrebbero avere l’uno per l’altro.

²¹ “L’*embodiment* è la proprietà del nostro coinvolgimento con il mondo che ci permette di renderlo significativo.”

²² “L’interazione *embodied* è la creazione, la manipolazione e la condivisione del significato attraverso l’interazione con gli artefatti.”

Malgrado l'apparente difficoltà nel creare connessioni tra la teoria e il design pratico, i due ambiti devono necessariamente essere saldamente connessi, in quando la teoria rende il design reale, lo pone in un contesto in grado di darne spiegazione.

Alla base del *tangible computing*, l'autore pone la relazione tra le attività e lo spazio in cui queste vengono svolte. Gli utenti hanno infatti la possibilità di organizzare l'ambiente in cui si trovano ad interagire nel miglior modo per andare incontro alle proprie necessità. Riconfigurando la disposizione spaziale delle *affordances*, si andranno a riconfigurare anche le funzionalità del sistema, adattandolo così alle esigenze dei singoli. I limiti nella collocazione di corpo e spazio possono essere sia tecnici (limiti dei sensori, degli attuatori, di calcolo), oppure delle caratteristiche di design.

Gli utenti, secondo *Dourish*, sono dei partecipanti attivi all'organizzazione dell'interazione, che non risulta quindi dalla semplice "esecuzione" di una serie di azioni formalizzate nella mente dell'utente, ma da un processo di continua risposta alle circostanze nelle quali avviene. Le conseguenze sul design del sistema sono l'esposizione e la disponibilità delle informazioni in modo da guidare l'attività dell'utente, offrendogli così un maggiore controllo diretto sulle modalità con cui viene gestita l'attività del sistema e aiutandolo nel processo di scelta delle azioni da svolgere. Le interazioni tra l'utente ed il sistema sono però da vedersi come un singolo punto su una traiettoria di interazioni tra il sistema e utenti diversi o tra il singolo utente e sistemi diversi. Il *social computing* aggiunge infatti l'idea di azione come pratica (*practice*). L'azione si inserisce in uno schema più ampio di attività in corso che la rende significativa e la comunità (*community of practice*), influenza e determina i significati ed i valori condivisi.

I principi enunciati da *Dourish* sono sei e sono da intendersi secondo l'autore come "*things to pay attention to*" (aspetti a cui prestare attenzione) durante il design di sistemi *embodied*.

Computation is a medium

L'interazione con dei sistemi *embodied* permette di trasferire e condividere significato attraverso la tecnologia, motivo per il quale la "computazione" viene

vista come un medium. I computer forniscono un mezzo per la comunicazione, mentre la computazione, il calcolo, rappresenta il vero e proprio medium. Il significato delle informazioni non è solo quello che il sistema comunica, ma anche come queste vengono trasformate in rappresentazione e influenzano la pratica, trasformandola, restringendola o estendendola. Poiché l'informazione viene modulata e demodulata grazie all'uso della computazione, rende quest'ultima un'idea centrale nel design: ne evidenzia la capacità di *fare cose*, nei termini di aumento e amplificazione delle attività dell'utente.

Meaning arises on multiple levels

Secondo questo principio i sistemi che supportano le interazioni di tipo *embodied*, devono essere progettate in modo da avere diversi livelli di significato, in quanto diverse sono le modalità attraverso le quali possono trasmettere significato. Si possono individuare due dimensioni principali, la dimensione iconica - simbolica e quella oggetti - azioni, così da creare una matrice di posizionamento. La dimensione iconica - simbolica descrive la relazione tra la rappresentazione e ciò che viene rappresentato: le rappresentazioni simboliche sono astratte, mentre quelle iconiche cercano di raffigurare l'entità ad un minor livello di astrazione. È possibile anche distinguere tra le rappresentazioni di oggetti, tra cui ad esempio le persone, e le rappresentazioni di azioni, come eventi o comportamenti. Gli approcci tradizionali insistono su una forte separazione tra la rappresentazione e l'oggetto, o tra oggetto e azione, mentre secondo il design di sistemi *embodied* "qualcosa può essere allo stesso tempo rappresentazione, oggetto e azione e convogliare diversi significati, valori e conseguenze".

Users, not designers, create and communicate meaning.

Users, not designers, manage coupling.

Questo principio è strettamente collegato alla teoria di *User-Centered Design*, secondo la quale è necessario dare grande attenzione in ogni passo della progettazione ai bisogni, desideri e limiti dell'utente, in modo da massimizzare l'usabilità del prodotto. Secondo Dourish l'improvvisazione dell'utente attinge da una grande varietà di risorse nell'ambiente, incluse anche quelle tecnologiche. Poiché il significato è un aspetto che deriva dall'uso,

dall'interazione e dalla pratica, è qualcosa che non può che risiedere nelle mani dell'utente, non in quelle del designer. Il progettista, quindi, non dovrà concentrarsi sulle modalità per far utilizzare un dato strumento, ma piuttosto sulle modalità con cui l'utente può comprendere lo strumento ed utilizzarlo nelle diverse situazioni.

Con il termine *coupling*, Dourish intende "la modalità con la quale viene mantenuto il rapporto tra ciò che si fa e ciò che si intende fare". L'*accoppiamento* si occupa del modo in cui viene assemblato un insieme di rappresentazioni astratte in uno strumento, attraverso il quale si agisce per ottenere un risultato finale. Questa procedura consiste in un continuo processo di separazione, ordinamento e accostamento di svariate entità, sia fisiche sia virtuali, ognuna delle quali porta con sé un significato. *Coupling* significa filtrare i significati che emergono dal processo descritto, ed estrarre un contenuto efficace per lo scopo che si intende raggiungere. Questa operazione è propria dell'utente, che non può essere forzato ad estrarre significati da accostamenti di entità imposte dal designer.

Embodied technologies participate in the world they represent.

Mente e corpo, rappresentazione e oggetto, costituiscono la base di appoggio della prospettiva dell'*embodiment*, entità che non abitano mondi diversi ma partecipano ad un'unica realtà. Questa posizione si traduce nel design nell'individuazione di due rappresentazioni distinte, una tecnologica e una "*human-readable*" (comprensibile all'uomo). L'atto di comunicare attraverso media tecnologici implica la codifica del messaggio in grandezze o linguaggi comprensibili, elaborabili, ma soprattutto trasmissibili dalle macchine.

Nel momento in cui si utilizza un display fisico per la visualizzazione delle informazioni, il movimento meccanico degli elementi e i segnali elettrici che portano informazioni agli attuatori, formano la rappresentazione tecnologica: è infatti attraverso essi che l'informazione viene trasmessa attraverso le varie componenti del sistema. Il sistema elettronico non comunica informazioni aggiuntive a quelle che sono necessarie per il settaggio degli elementi, quindi, non saprà il contenuto dell'immagine che sta contribuendo a visualizzare. Gli utenti d'altro canto sviluppano delle modalità e convenzioni che permettono

loro di comunicare attraverso il display, ma è qualcosa che ha nuovamente solo senso quando rimane nel contesto della comunicazione tra umani, poiché sarà un linguaggio che le macchine non potranno comprendere.

Embodied interaction turns action into meaning

Il sesto e ultimo principio occupa una posizione centrale nell'idea di *embodiment* e fornisce all'interazione l'abilità di trasformare l'azione in significato. Non significa che il sistema o le informazioni presentate rappresentino il significato, perché il significato non risiede nel sistema, ma nelle modalità con cui questo viene utilizzato. Dourish distingue tre diversi aspetti del significato: intenzionalità, ontologia e intersoggettività.

L'intenzionalità nell'ambito del design si lega strettamente al concetto di interpretazione e alla riflessione sulla provenienza del significato di un'azione. Come è possibile interpretare e capire il significato che un'azione trasmette? "L'intenzionalità è una questione di contesto e di azione". Il significato non viene ereditato dall'informazione, ma è l'utente che attribuisce un determinato significato all'azione.

L'ontologia invece riguarda le modalità con cui comprendiamo la struttura generale e la distinzione tra un'entità e l'altra, cogliendo la relazione tra di esse. Anche in questo caso, i modi di comprendere la struttura del mondo derivano dai modi in cui interagiamo con il mondo, quindi dall'azione. Relativamente al design, si può pensare di estendere la definizione e il ruolo di un'*affordance*, fornendo alle caratteristiche del design anche la capacità di permettere la comprensione del significato.

L'intersoggettività, terzo aspetto analizzato, riguarda il modo in cui il significato si manifesta come fenomeno collettivo. Le comunità (*communities of practice*) che condividono gli stessi costumi, storie, identità, condividono anche i significati, che quindi non esistono unicamente per il singolo individuo. Tecnicamente la tecnologia non si limita a permettere di capire certi tipi di azioni, ma riflette anche assunti, convenzioni e pratiche all'interno delle comunità.

1.5.4. L'Embodiment dei display

Quando si osserva una fotografia, normalmente si concentra la propria attenzione sul contenuto, ovvero su ciò che l'autore aveva di fronte a sé nel momento dello scatto. Secondo James. J. Gibson (Gibson 1986), l'osservatore di una fotografia non può fare a meno di notare sia la superficie lucida della stampa sia le informazioni su essa contenute, ovvero il contenuto, pur trattandosi di consapevolezze diverse. Nelle fotografie, infatti, è possibile distinguere la superficie *della* fotografia dalla superficie *nella* fotografia, così come nei quadri impressionisti è possibile distinguere l'illuminazione *del* quadro da quella *nel* quadro. L'osservatore non è per forza consapevole di questa discrepanza che si crea, ma è in grado, come dimostrato dall'autore, di spostare la sua attenzione da un sistema di riferimento all'altro.

Questa dualità espressa da Gibson è presente, dunque, anche in tutti gli schermi che mostrano immagini, come quelli dei cinema o dei televisori, e anche in tutti i display virtuali, ma non sussiste nel caso degli schermi fisici. Nei display *embodied*, si può trovare una corrispondenza tra le due superfici indicate in precedenza: la superficie del display fisico del medium e le superfici che vengono mostrate sono percepite congruenti, senza discrepanze di tipo visivo o fisico.

2. I display fisici in arte, design e ricerca

In questo capitolo si tratterà l'uso dei display fisici cinetici e tecnologie affini in diversi campi, quali l'arte, il design e la ricerca, fornendo così una panoramica delle tecniche già affermate ed ancora in evoluzione. I casi proposti cercano di essere diversi tra loro in termini di scopo e strumenti utilizzati al fine di creare una raccolta di tutte le diverse possibilità messe sul campo da questo tipo di tecnologia fino ad oggi.

Si partirà dall'analisi della visione di due grandi studi internazionali specializzati nell'arte cinetica, BREAKFAST e ART+COM, con uno sguardo alle opere principali sviluppate nel corso degli anni di attività. Il terzo paragrafo sarà dedicato alla figura di Daniel Rozin, professore della New York University, e al suo ragionamento sul concetto di specchio, idea spesso utilizzata nella creazione di opere cinetiche e strumento per rendere lo spettatore stesso protagonista dell'opera, permettendogli di interagire senza la necessità di alcuna spiegazione.

I due casi studio seguenti, KINEIN ed inFORM, rappresentano due installazioni frutto di studio di gruppi di ricerca accademica, il primo dell'Università di Salisburgo, il secondo del Massachusetts Institute of Technology, ed entrambe puntano a sfruttare la manipolazione diretta, meccanica, delle forme da parte dell'uomo, per quanto lo scopo sia profondamente diverso. La prima opera è di carattere decorativo e la ricerca è stata compiuta principalmente sul metodo di generazione meccanica delle immagini, la seconda è invece una ricerca che mira a creare un nuovo tipo di *shape display*, che permetta la modifica diretta delle forme e un'innovativa forma di telepresenza.

Per ultimo viene analizzato il fenomeno della Drone Art, ovvero l'arte di creare dei display nel cielo notturno attraverso l'uso di centinaia di droni che emettono luce. Per quanto distanti dagli altri esempi portati in analisi, gli spettacoli di droni possiedono le stesse caratteristiche di un display cinetico come analizzato in precedenza, tra cui una risoluzione limitata (a differenza di

altri schermi, in questo caso i colori non hanno limiti stringenti) e la possibilità di movimento dei "pixel".

2.1. BREAKFAST New York

BREAKFAST²³ è uno studio artistico con sede a Brooklyn, New York City, diretto dagli artisti Andrew Zolty e Mattias Gunneras. Lo studio è stato aperto nel 2009, da tre ragazzi con un background di sviluppatori software. Come detto da Andrew Zolty, co-founder e co-director di Breakfast, in un breve documentario di Mashable²⁴, lui ed i suoi colleghi erano stanchi di vedere il digitale manifestarsi solo attraverso dei pixel luminosi, e per questo motivo decisero di dare vita ad uno studio dedicato a creare esperienze di persona interamente basate su medium cinetici. L'intento era quello di prelevare tutto ciò che di digitale esiste nel mondo e manifestarlo in qualcosa che potesse parlare alle persone in modo diverso rispetto a dei pixel luminosi.

Lo studio unisce la computer science, l'ingegneria meccanica, l'ingegneria elettronica e "un'estetica giocosa ed emotivamente sorprendente, per invitare il pubblico a riflettere sulla relazione tra il fisico, il digitale, il globale e l'intimo, nonché sulle relazioni in evoluzione tra i corpi umani e l'innovazione tecnologica nell'era dell'informazione."

Breakfast vanta all'attivo più di 40 installazioni, tra temporanee e permanenti, solo dal 2017 ad oggi, di cui la metà sono relative al loro primo prodotto di punta, ovvero il Flip-Discs. Zolty afferma che il processo che porta all'ideazione di nuovi display o macchine cinetiche è molto simile a quello di uno scrittore di musica: "a volte l'ispirazione arriva subito, mentre altre volte è necessario lavorare su un'idea per anni".

Molti dei progetti di Breakfast sono connessi al web per immagazzinare dati di diverso tipo, ma non solo, l'obiettivo dello studio secondo Gunneras è quello di "connettere persone ad altre persone". Le opere dello studio vogliono "connettere gli spettatori a luoghi lontani attraverso esperienze interattive, e

²³ Sito web dello studio: <https://breakfastny.com/>

²⁴ Il documentario "[Mashable Documentary on Kinetic Art Studio, BREAKFAST](#)" è disponibile su YouTube. [Mashable](#) è un sito web di attualità statunitense costruito sotto forma di blog, nato nel 2005.

raccontare storie riguardo il nostro mondo in rapido cambiamento". Ad esempio, *Traverse* è un'opera del 2021 che esplora i movimenti delle persone in una giornata di New York City. Un sensore nella lobby di One Penn Plaza registra i movimenti e un'intelligenza artificiale li riporta nell'opera come una serie di onde. Un visitatore che si avvicina all'installazione può interagire con la propria immagine specchiata facendola muovere attraverso la superficie "liquida" del display Flip-Disc.

Lo schermo fisico in questo caso viene utilizzato per connettere il mondo fisico con quello virtuale, due aspetti che nel display *embodied* trovano una fusione. L'uso di informazioni provenienti dal mondo reale, combinato con l'uso di interazioni fisiche, aumenta la vicinanza che i display fisici esprimono nei confronti dell'utente, diventando parte dello spazio fisico nel quale l'utente si trova.



Figura 11. *Traverse*, BREAKFAST New York, 2021.

In un'intervista con Muse (Zolty 2018) in occasione dell'uscita dell'ultimo prototipo dello studio, Brixels, Andrew Zolty parla approfonditamente della visione dello studio. Breakfast ama "creare nuovi medium", in particolare, ama "creare qualcosa che possa essere percepito come arte, ma che svolga anche una funzione, come visualizzare informazioni o contenuti in tempo reale".

Come afferma il co-founder dello studio di Brooklyn, "nel momento in cui cerchiamo di introdurre dei contenuti digitali nel design dei nostri spazi, si ricade sempre nell'uso degli schermi, ma non per forza deve essere così". I contenuti digitali infatti "possono mescolarsi con lo spazio creando dei display che possano abbinarsi all'estetica e al design dello spazio stesso".

I primi display flip-discs a 30 fps di casa Breakfast sono stati prodotti nel 2012, e presto sono arrivati i primi pannelli modulari con delle griglie quadrate da 17 pollici di lato, contenenti 784 dischi ciascuna, con la possibilità di collegamento attraverso cavi CAT5 (Moynihan, *Get Lost in a Display Made of Thousands of Shifting Discs* 2016). Insieme ai display, controllati attraverso delle macchine Linux, lo studio fornisce anche delle applicazioni per smartphone create per la gestione dello scheduling, e per l'invio al sistema di immagini, video e testi.

Una delle ultime invenzioni, i Brixels, nasce nel 2018 dall'idea di creare, come nel caso dei flip-disc, una struttura modulare da poter applicare a diverse installazioni, composta da specchi di alluminio (Wendt 2019). Il "Bixel" è l'unione tra "Brick" e "pixel", e come il nome suggerisce si tratta di un vero e proprio blocco in alluminio, da un lato riflettente e dall'altro opaco, in grado di ruotare su se stesso attraverso dei motori. A seconda dell'orientamento, questi blocchetti possono riflettere o bloccare la luce in maniera unica, creando strutture complesse e mostrando dati quali l'ora o notifiche di diverso tipo. Dai Brixels sono nati le opere Pulse, Pool, Awaken e Bixel Mirror.

Zolty spiega come "nei nostri cuori ci sia uno spazio per gli elementi tattili, ed è il motivo per il quale ci piace il *look and feel* dei vecchi stereo, registratori e dei televisori. Ai bambini piccoli piace cliccare gli interruttori, far ruotare le rotelle dei vecchi telefoni, c'è qualcosa di radicato in noi come esseri umani per rispondere a cose come queste. Da Breakfast, cerchiamo di attingere a quella sensazione e trovare modi per farla esistere nelle nostre moderne vite digitali".

Le sensazioni elencate dall'artista, si riferiscono a quelle capacità di interazione indicate da Dourish come elementi che possono semplificare l'interazione con i sistemi virtuali. Secondo l'autore, poiché abbiamo sviluppato abilità quali l'esplorazione, percezione, valutazione, navigazione e manipolazione con gli oggetti del mondo fisico, l'uso di interfacce fisiche per i sistemi virtuali possono

rendere l'interazione più naturale rispetto a quella astratta e simbolica dei display digitali convenzionali.



Figura 12. Bixel Mirror, prima opera creata da BREAKFAST con la tecnologia dei Bixels, 2018. "L'opera è un'esplorazione della creazione di movimenti organici a partire da forme e materiali tra i meno organici possibili".

2.1.1. Forever 21 Thread Screen, 2015

Il Thread Screen ²⁵, progettato e prodotto per la marca di abbigliamento Forever 21 nel 2015, è uno dei lavori più interessanti di Breakfast Studio. Sul sito internet dello studio si possono leggere gli elementi utilizzati per il progetto: tessuto, alluminio, acetale, sistemi meccanici motorizzati, software e computer. Il Thread Screen è stata una installazione temporanea che ha avuto sede nello studio di Breakfast a Brooklyn, composta da più di 6'000 rocchetti di tessuto, 200'000 parti in movimento e 18 mesi di produzione, la cui funzione era quella di mostrare delle fotografie di Instagram con l'hashtag di Forever 21 #F21ThreadScreen²⁶.

Grazie a questa installazione, gli utenti di Instagram potevano vedere i propri selfie ricreati attraverso dei pixel di tessuto in diretta attraverso lo streaming continuo di una webcam su f21threadscreen.com (sito ad oggi non più disponibile), per 7 giorni, e ricevere un video della loro fotografia che veniva

²⁵ [Thread Screen](#), Fabric, Aluminium, Acetal, Mechanical Motor System, Software, Computer, 13 x 10 x 2 ft., 2015

²⁶ Il tag [#F21ThreadScreen](#) su Instagram

trasformata. Il progetto fu commissionato per promuovere la campagna *back-to-school* incoraggiando gli amici a condividere le proprie immagini utilizzando l'hashtag di Forever 21. I risultati sono stati impressionanti, in 7 giorni, senza budget per la promozione, sono state raggiunte 280 milioni di *impressions* (Moynihan, Forget 4K: This Low-Res Screen Creates Images Out of Thread 2015).

Il fattore che ha scatenato la popolarità di questo strumento è stato sicuramente il fatto che lo schermo su cui venivano composte le immagini non era un moderno schermo in 4K, ma uno schermo con dei pixel reali, di tessuto, con una definizione di soli 0.1K, 80x80 pixel. L'opera d'arte nel suo complesso è alta 4 metri, pesa circa 900 kg vuole simboleggiare la convergenza di moda, tecnologia e arte e mette il controllo creativo nelle mani della loro comunità.

Nell'installazione vengono usati 6'400 rocchetti, più di 10 km di tessuto e migliaia di motori e ingranaggi. Ogni "pixel" è composto da un nastro di tessuto lungo circa 1.5 metri che può realizzare sul lato esposto del display fino a 36 colori, a seconda di quanto ruota il motore collegato ai nastri colorati.

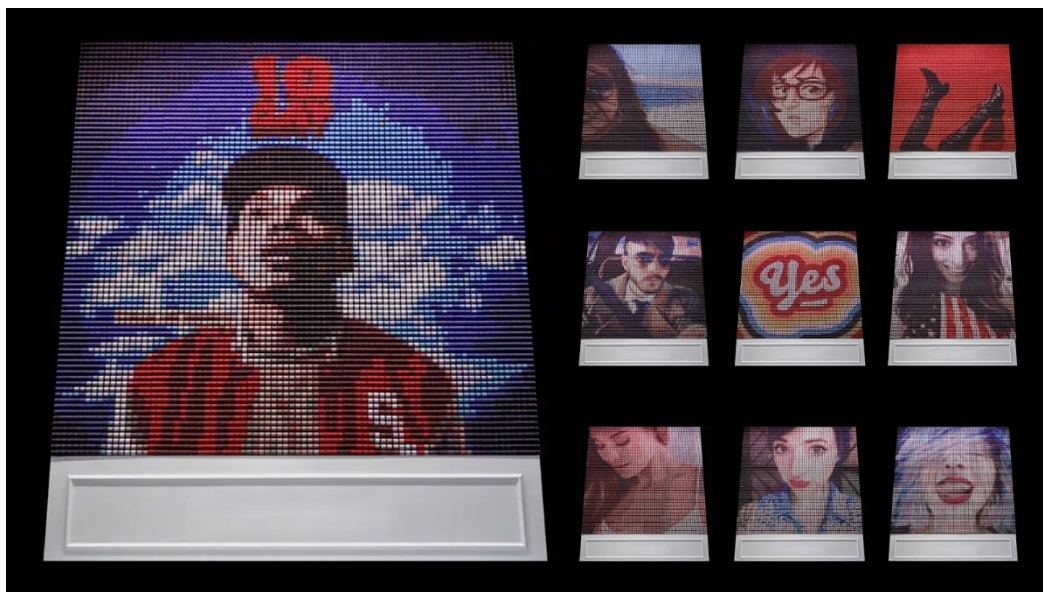


Figura 13. L'opera Thread Screen e alcune delle immagini che sono state create attraverso l'uso dell'hashtag #F21ThreadScreen.

Andrew Zolty afferma che l'idea di utilizzare il tessuto deriva dal fatto che questo è l'elemento più basilare e versatile del mondo della moda, e l'idea di servirsi di instagram come strumento principale per l'interazione è dovuto al

grande seguito del marchio Forever 21 sul social network (8 milioni all'epoca dell'installazione, più di 14 milioni oggi) e alla posizione di primato come social network artistico / creativo.

Il controllo del display è gestito da un server, che raccoglie le immagini caricate su instagram che utilizzano l'hashtag e le ottimizza per la risoluzione e il profilo colore dell'installazione. "Il processo di *color remapping* utilizza un algoritmo che misura la distanza tra i due colori in termini della percezione dell'occhio umano" spiega Zolty (Steven 2015). Una volta che viene selezionato il colore corretto viene calcolato il numero di passi che deve eseguire ogni motore per mostrare sulla parte frontale dell'installazione il colore scelto. Ogni nastro inoltre possiede una striscia riflettente che può essere scannerizzata da un sensore ad infrarossi presente nei moduli, in modo da riconoscere quale colore si sta mostrando e permettere così l'eventuale correzione di slittamento del nastro sul rocchetto.

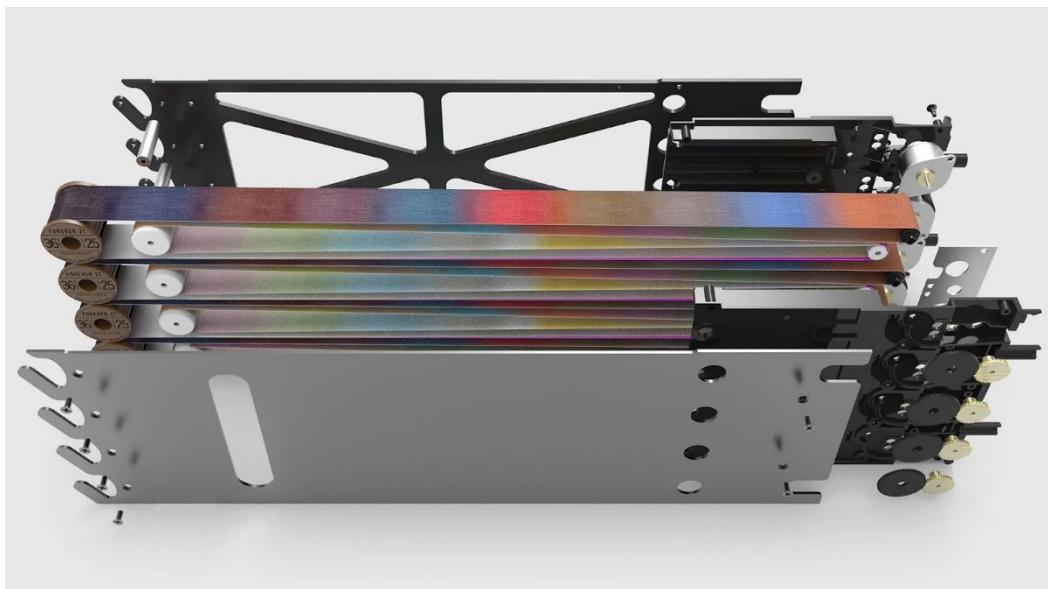


Figura 14. Spaccato di uno dei moduli che compongono lo schermo, dove è possibile vedere il nastro di tessuto con il relativo percorso e la posizione dei motori e dei lettori di posizione.

"Da lì, suddividiamo l'immagine in blocchi 32×4, a causa del modo in cui è disposto l'hardware, e inviamo tutte le informazioni a tutti i 200 moduli che compongono lo schermo. Le informazioni inviate ai moduli includono coordinate e informazioni sui tempi (per le transizioni), infine inviamo un comando a tutti i moduli per dire loro di iniziare a muoversi".

Poiché la variazione di temperatura e umidità crea problemi con la gestione della tensione dei nastri di tessuto, l'opera non ha mai lasciato gli uffici di Breakfast, a Brooklyn. Un altro fattore che non permette il movimento è il grande peso ed ingombro dell'installazione e il fatto che debba essere assemblata, controllata, calibrata e disassemblata ad ogni spostamento.

Non è la prima volta che lo studio di New York lavora con l'interfacciamento con Instagram, già esplorato con *Instaprint*²⁷, una piccola cabina fotografica che permette di stampare le immagini Instagram in forma di polaroid, e con *Instaprint Mosaics*.

Questo tipo di installazione, oltre ad essere esempio di un utilizzo innovativo e non convenzionale di un elemento della quotidianità quale il tessuto, costituisce anche un tentativo di unione tra il mondo interamente virtuale e quello fisico. Il "percorso" compiuto dall'immagine che viene rappresentata sul *thread screen*, infatti, non ha inizio da un elemento del mondo fisico, ma dal sensore digitale del telefono di un utente dell'installazione. Il mondo reale viene catturato dalla fotocamera, ma viene poi alterato e rimodulato dalle possibilità messe a disposizione dalla piattaforma di *sharing*, per poi terminare il suo percorso nella forma fisica. Il display preso in esame si può considerare un vero e proprio dispositivo di output fisico allo stesso piano di una stampante, in quanto come quest'ultima attinge da elementi creati digitalmente per portarli nel mondo reale. L'immagine finale è tangibile, osservabile ad occhio umano senza l'uso di strumenti specifici.

2.2. ART+COM

ART+COM è un'agenzia di design tedesca con sede a Berlino e Colonia specializzata nell'uso dei nuovi media per la progettazione e lo sviluppo di installazioni, oggetti e spazi, sia analogici sia digitali.

L'agenzia è stata fondata nel 1988 da artisti, designer e sviluppatori dell'Università delle Belle Arti di Berlino come associazione studentesca, ma ha ben presto raggiunto la fama con il lavoro presentato nel 1992 ad Ars

²⁷ [Instaprint](#), nata nel 2012, è una cabina che permette di stampare su carta simil Polaroid (senza inchiostro) le fotografie scattate a coloro che taggano correttamente le foto su Instagram. Alimentate da computer Linux, si collegano agli smartphone tramite WiFi.

Electronica, lo Zerseeher, un dipinto (*Ragazzo con disegno di bambino in mano* di Giovanni Francesco Caroto) che si deforma in base alla posizione dello spettatore, attraverso l'uso dell'*eye-tracking*.

Attraverso l'uso della tecnologia come medium artistico, ART+COM riesce a creare progetti interattivi che superano i limiti di ciò che si pensa possibile attraverso la tecnologia, presentandoli in modo artistico e poetico. I lavori del collettivo sono caratterizzati da un'estetica minimale, pulita, elegante, ma non solo, sono uno strumento di ricerca tecnologica.

Nell'intervista con DesignWanted, Joachim Sauter²⁸ (Sauter 2020), co-fondatore dello studio, racconta che la scelta di orientarsi verso la bellezza e la poesia, è dovuta al fatto che "in un'epoca in cui qualsiasi informazione, in qualsiasi momento e in qualsiasi luogo, è accessibile immediatamente e facilmente, la poesia potrebbe essere una risposta a questa comunicazione per lo più superficiale". In seguito, spiega anche come la poesia debba essere decifrata per essere compresa, il lettore quindi è disposto a investire sforzo, energia, tempo, l'esatto contrario di ciò che vediamo nella comunicazione odierna; la bellezza apre le porte allo spettatore per invitarlo a spendere energia nella decifrazione del messaggio che l'opera porta con sé.

Un esempio di opera che richiede allo spettatore il suo tempo per essere decifrata, è l'installazione Raphael's Pendulum, del 2018, è situata nel moderno edificio del Pharma and Diagnostics Centre a Penzberg in Germania. I punti di partenza dell'installazione sono il pendolo e la "Scuola di Atene" di Raffaello Sanzio, una delle opere più famose dell'Alto Rinascimento, della quale vengono evidenziati 21 personaggi. Il pendolo oscilla sull'affresco virtuale, rendendolo visibile pezzo per pezzo e riportando ai giorni nostri gli inizi della storia intellettuale e scientifica europea.

²⁸ Joachim Sauter (1959 - 2021) è stato un professore di New Media Art and Design alla Università delle Belle Arti di Berlino e della UCLA di Los Angeles. Ha fondato ART+COM nel 1988 ed è stato uno dei maggiori pionieri dei nuovi media dagli anni Ottanta.

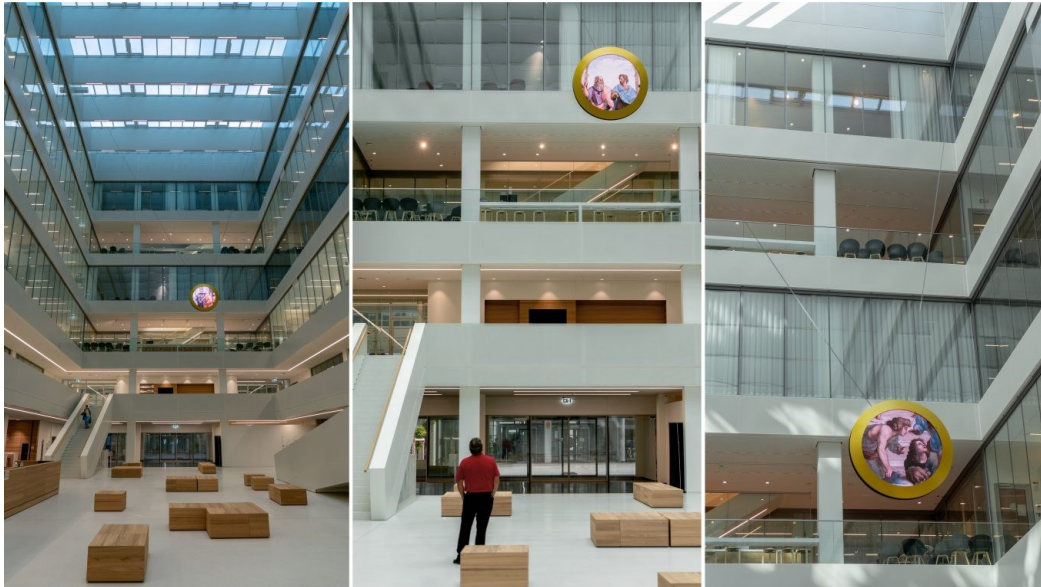


Figura 15. Raphael's Pendulum, 2018, Pharma and Diagnostics Centre, Penzberg, Germania.

Secondo Sauter, l'obiettivo più importante quando si vuole trasmettere un messaggio al pubblico attraverso un'opera è che le persone non si chiedano subito come sia possibile una certa cosa o siano affascinate dalla tecnologia, ma piuttosto dall'esperienza e dal contenuto che trasmette. Nelle opere dello studio, infatti, la tecnologia viene sempre celata, "prima i contenuti e l'esperienza, poi la tecnologia" afferma il co-fondatore e *Head of Design* tristemente mancato lo scorso anno.

Senza dubbio nella progettazione dei display fisici la tecnologia ricopre una posizione molto importante, come afferma Dourish in uno dei suoi principi, ma non si deve manifestare esplicitamente all'utente. Secondo il principio di *computation is a medium*, infatti, l'interazione con i sistemi *embodied* deve permettere di trasferire i significati attraverso la tecnologia. Non è il mezzo tecnologico ad essere mezzo per la comunicazione, ma la computazione, la tecnologia utilizzata per creare l'esperienza ed esprimere i contenuti.

ART+COM si divide in 3 aree di lavoro: Art, che comprende tutte le attività di design di installazioni e opere, sia per spazi privati sia per spazi o iniziative pubbliche, Communication, in cui vengono studiati i metodi di correlazione dei complessi contenuti con le esperienze fisiche interattive, e Ricerca, vista dallo studio come "fonte di ispirazione e base per la sperimentazione nel design di

innovazioni", importante anche per la ricerca di nuove forme di interazione e comunicazione.

In un'intervista per *Communication Arts*, Sauter racconta come avviene la scelta del progetto e le prime fasi di progettazione. "ART+COM è molto esigente riguardo ai progetti che accetta. Guardiamo al potenziale di innovazione, [...] in tutto ciò che facciamo, dobbiamo spingerci oltre i confini del mezzo". All'inizio di ogni progetto, viene sempre organizzata una riunione con un gruppo interdisciplinare in modo che la progettazione venga affrontata da diverse angolazioni. "Ci sono molti schizzi, molte ricerche di riferimenti e un'insistenza sull'esplorazione, per trovare approcci diversi da ciò che è stato fatto prima". Dopo diversi anni, ART+COM riesce sempre ad inventare sé stessa, guidata dalla trasformazione, dall'esplorazione continua dei nuovi media, in cerca di nuove modalità per plasmare il modo in cui pensiamo ed interagiamo con il mondo.

2.2.1. Rinascimento dello spazio

Il titolo di questo paragrafo, *Renaissance of Space*, prende in prestito il titolo di un intervento di Joachim Sauter al TEDx Hamburg del 2010. In questo intervento il co-fondatore di ART+COM parla del Rinascimento dello Spazio come una contro-reazione ai decenni in cui la comunicazione avveniva solo attraverso spazi virtuali e Internet. All'inizio degli anni Duemila, ci fu un grande aumento delle mostre nei musei e anche le aziende, come le istituzioni culturali, iniziarono a cambiare il loro modo di comunicare, cercando di passare da Internet e lo spazio virtuale allo spazio fisico. La motivazione di questo cambiamento Sauter la attribuisce al fatto che dopo anni passati in ambienti domestici a guardare schermi per intrattenimento, il bisogno di uscire nello spazio fisico e fare esperienza di oggetti tangibili si è moltiplicato. Le persone però, durante gli anni dominati dai computer e da Internet, sono diventate *computer-literate*, conoscono perfettamente le qualità del nuovo medium, e di conseguenza si aspettano di trovare computer anche nello spazio fisico. Le opere cinetiche e artistiche nascono in risposta a questa esigenza, combinando tecnologia, arte, comunicazione e ricerca.

Oggi ancora più che mai questa necessità di tecnologia nella quotidianità si manifesta. Nel corso dei due anni passati, infatti, la situazione sanitaria dovuta alla pandemia di Covid-19 ha costretto la quasi totalità delle persone ad utilizzare strumenti digitali per comunicare e compiere le attività quotidiane. Così, la familiarità con i dispositivi tecnologici e la loro conoscenza, ha aumentato ancora di più la necessità di integrare la computazione e la tecnologia nel mondo fisico.

Una grande parte della ricerca di ART+COM negli anni è stata incentrata sull'arte cinetica. A partire dalla metà degli anni duemila lo studio ha iniziato a lavorare e sviluppare una serie di opere cinetiche computazionali, in cui ogni elemento delle sculture e installazioni partecipasse all'opera contribuendo a creare un movimento collettivo e un'esperienza di senso nello spazio reale.

È del 2006 l'opera *Duality*, un'installazione a Tokyo che "incarna la transizione dallo schermo ai materiali e agli oggetti fisici in movimento, combinando due livelli: quello virtuale e quello fisico". L'installazione consiste infatti in uno schermo di dimensione 4x4 metri, integrato in un passaggio pedonale che collega la metropolitana della città con un complesso di edifici, che viene "innescato" al passaggio delle persone. Sotto allo schermo sono presenti delle cellule di carico che possono misurare la posizione e la forza con cui viene effettuato un passo. Sotto le lastre di vetro sabbiato che compongono lo schermo, dei LED producono delle onde virtuali che, una volta terminata la piattaforma, si trasformano in onde reali controllate nella vasca d'acqua che circonda il passaggio. In questa opera si uniscono quindi le onde luminose e le onde d'acqua, l'immaterialità e la materialità.



Figura 16. L'installazione Duality a Tokyo al passaggio di un cittadino.

In questa opera è possibile trovare un perfetto esempio di integrazione tra il mondo reale e quello virtuale. L'uso di sensori in grado di leggere fattori ambientali, in questo caso la pressione sul marciapiede, è una caratteristica che pone i display cinetici nello stesso spazio in cui si trova l'utente. Nei display tradizionali, il monitoraggio dei fenomeni che avvengono nel mondo reale rimane confinato nell'ambiente virtuale, mentre in quelli fisici si è così in grado di ritornare al punto di partenza, ovvero al mondo tangibile, chiudendo un cerchio. In questo specifico caso, è interessante notare come gli abbiano deciso di evidenziare la differenza tra display virtuale e display fisico ponendoli uno di fianco all'altro. Il primo, composto dai 16 schermi LED che ricalcano il moto ondoso, il secondo composto invece dall'acqua vera e propria, mossa attraverso degli attuatori.

Il passaggio più innovativo nella ricerca sull'arte cinetica arriva nel 2008, con la realizzazione di *Kinetic Sculpture - The Shapes Of Things to Come* per il museo BMW. Quest'opera è composta da 714 sfere di metallo, sospese al soffitto attraverso dei sottili fili di acciaio e animate attraverso l'uso di motori che accorciano o allungano il filo, facendo muovere verticalmente le sfere. L'opera ha come tema "il processo di ricerca della forma nel design automobilistico" e consiste in una coreografia delle sferette della durata di dodici minuti, durante i quali da uno stato caotico (definito *spatial white noise*, "rumore bianco

spaziale”) emergono lentamente prima delle forme ed in seguito la forma finale di quattro auto iconiche del passato della casa automobilistica tedesca.

Nella realizzazione di quest’opera, ART+COM dichiara di essere passati dal “pixel” al “voxel”, ovvero all’unità di spazio tridimensionale. Questa idea si è trasformata quindi nella deformazione di un piano nelle tre dimensioni in modo dinamico, che può essere immaginato come se un telo fosse stato steso sopra le auto ed in seguito prelevato ed isolato. L’intento dell’installazione non era quello di inventare o creare un nuovo display tridimensionale in grado di rappresentare tutte le forme possibili, ma un sistema uniforme in design, contenuto e visualizzazione. Quest’opera è stata così importante nel mondo dell’arte cinetica che le copie o imitazioni negli anni seguenti furono innumerevoli, in tutto il mondo, e anche lo studio ha deciso di effettuare altre versioni dell’installazione per altri committenti.

Quest’opera costituisce uno dei più chiari esempi di passaggio ad un’unità di rappresentazione che si “muove” nello spazio tridimensionale. In questo caso, la forma degli oggetti visualizzati sembra essere generata dal nulla, la tecnologia che guida i “voxel” è infatti accuratamente nascosta, in modo da rendere protagonista la nuova tecnica di rappresentazione. In questa installazione, le sfere non hanno la capacità di muoversi attraverso lo spazio liberamente, ma hanno un moto che è limitato ad una sola dimensione (su o giù). La posizione verticale si può assimilare alla luminosità di un pixel, e il passaggio da una rappresentazione acceso / spento (come, ad esempio, nel caso di un display flip-dot) a questa, al passaggio dall’immagine in bianco e nero ad una in scala di grigio.

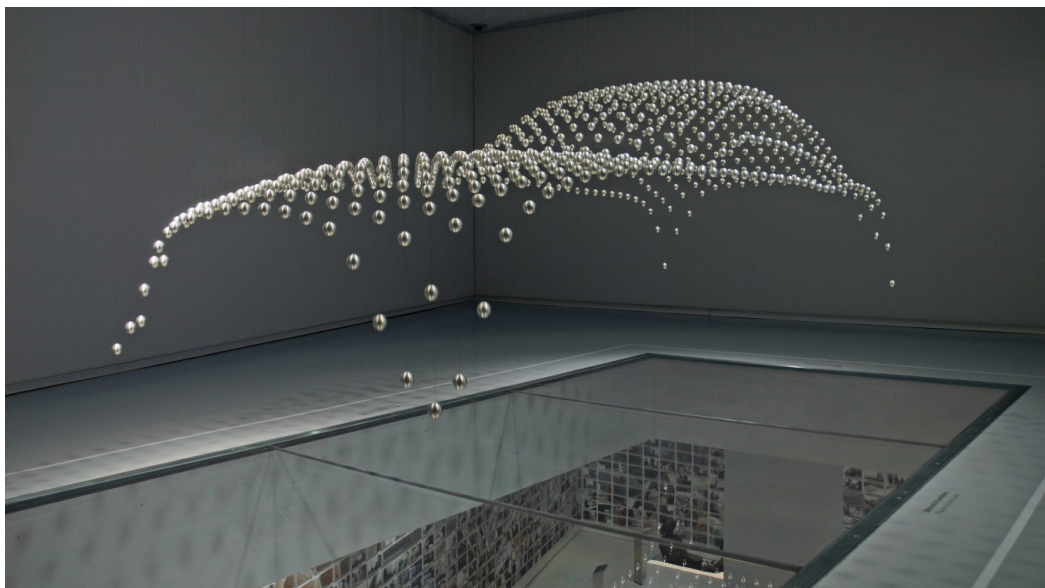


Figura 17. L'opera Kinetic Sculpture - The Shape Of Things to Come nel momento in cui viene visualizzata la forma dell'automobile.

2.3. Gli specchi meccanici di Daniel Rozin

Secondo Daniel Rozin, artista e professore in *Interactive Telecommunications* alla New York University, "nessuna invenzione ha trasformato il modo in cui percepiamo il mondo, e in modo ancora più importante noi stessi, tanto quanto lo specchio" (Rozin, This Artist Makes Kinetic 'Mirrors' That Echo Your Movements 2019).

Rozin ha incentrato tutto il suo lavoro sull'idea di *participation* e *interaction*, cercando di rendere lo spettatore parte dell'opera. "Quando una persona si ferma di fronte ad una delle mie opere d'arte, capisce immediatamente l'interfaccia, non c'è una curva di apprendimento, non si chiede quale sia il contenuto dell'opera, perché il contenuto è la persona stessa."

Le sue opere sono frutto di anni di ricerca e di applicazione delle nuove tecnologie, e si focalizzano con costanza sul concetto di "specchio", la traduzione diretta della quotidiana interattività che solo uno specchio è in grado di creare. Durante l'intervista a Wired, Rozin spiega la motivazione profonda per la quale ha speso gran parte della sua vita creando queste installazioni. "Il modo in cui noi percepiamo noi stessi è in forte contrasto al modo in cui le altre persone vedono noi, e nel momento in cui si fissa uno

specchio, quella distanza crolla: si comincia a vedere sé stessi come se si fosse un'altra persona, è un momento molto ricco emotivamente ed è un momento che definisce gran parte della mia arte".

In un'intervista rilasciata a Digicult (Rozin, Daniel Rozin, lo specchio dell'anima 2006), Daniel Rozin esprime il suo pensiero teorico dietro ai lavori dedicati agli "specchi", affermando che essi sono una delle invenzioni tecnologiche più antiche dell'uomo e sono da sempre carichi di miti, significati e superstizioni, fino ad essere stati talvolta visti come malefici. "Credo che nessun'altra invenzione abbia avuto un impatto così significativo sul modo in cui le persone percepiscono il mondo attorno a loro e soprattutto sul modo in cui percepiscono loro stesse. [...] A dispetto della sua semplicità quindi, lo specchio è un oggetto molto complesso, che ha l'ulteriore capacità di mostrare un'unica immagine riflessa a una moltitudine di persone contemporaneamente. [...] Negli ultimi dieci anni ho quindi creato arte digitale interattiva e ho trovato nello specchio, sia come oggetto che, come paradigma, un'eccellente piattaforma di espressione. All'inizio in modo inconsapevole, e poi sempre più deliberatamente, ho creato un numero di opere che sono sempre in un modo o nell'altro degli specchi."

Rozin afferma che il concetto centrale di tutto ciò che produce ruota intorno all'interazione degli spettatori nelle proprie opere. "Quando progetto un nuovo pezzo cerco di scendere a compromessi su quasi tutto allo scopo ultimo di garantire un'interazione funzionale. Per un'opera digitale soprattutto, l'interazione è la sola via di connessione con lo spettatore [...]. Considero quindi l'arte interattiva come una partnership tra me stesso e lo spettatore; l'opera d'arte è creata insieme, ed è differente per ognuno."

Gli specchi che il professore della NYU ha prodotto durante gli anni sono moltissimi, alcuni dei quali particolarmente creativi, utilizzando come "pixel" dello schermo fisico-digitale lattine dei rifiuti, giocattoli, *pon pon*. Secondo Rozins infatti "si può creare un display meccanico prendendo qualsiasi cosa e semplicemente ruotandolo verso l'alto o verso il basso, verso una fonte luminosa o lontano da questa."

Il primo specchio prodotto era composto da 835 piccole tessere di pino, e risale al 1999, dopo un intero anno di progettazione e produzione. Il *Wooden Mirror* (Rozin, Wooden Mirror 1999) "esplora la linea tra l'analogico e il digitale". Scrive l'autore: "L'essenza dell'opera è l'idea di infliggere un ordine digitale a un materiale tanto analogico quanto possibile: il legno. Speravo di prendere la potenza di calcolo di un computer e di una videocamera e integrarli perfettamente nella fisicità, nel calore e nella bellezza di uno specchio di legno". Nel momento esatto in cui le piccole tessere di legno si muovono, il *Wooden Mirror* produce un suono distintivo, scaturito da centinaia di piccoli motori. "Il suono è direttamente connesso al movimento della persona di fronte allo specchio e fornisce un piacevole feedback secondario all'immagine."

Il *feedback* sonoro è di particolare interesse per quanto riguarda l'interazione e l'invito all'azione dell'utente. La componente sonora aggiunge un fattore in più che rende l'esperienza di interazione multisensoriale, e di conseguenza più interessante e completa. Stimolare la curiosità dello spettatore, come verrà spiegato, può essere un fattore determinante per vincere la *display blindness* che potrebbe affliggere il sistema.



Figura 18. Wooden Mirror al Museo d'Israele, a Gerusalemme.

Le difficoltà incontrate durante gli sviluppi dei vari specchi, sono state tante, per citarne qualcuna, la gestione dello sfondo nella ripresa della videocamera, che doveva essere forzosamente uniforme per funzionare, oppure il continuo utilizzo e stress dei motori servo, che portava a continui guasti. Rispetto ai primi esperimenti con videocamere e motori servo, ora gli specchi più moderni sono costruiti con motori stepper, più precisi ed affidabili, e sensori di movimento o sensori laser per tracciare i movimenti degli spettatori.

Daniel Rozin continua a lavorare in completa autonomia. "Se c'è una sfida in queste opere, è la moltitudine di elementi, se devo compiere un'azione una volta, solitamente dovrò compierla un migliaio di volte. Controllare un solo motore è semplice, ma il cablaggio e il controllo di migliaia di motori è la vera sfida."

Se si osservano bene le opere di Rozin, si potrà notare come i display non sono sempre composti da sottounità quadrate o rettangolari, come ormai siamo abituati a definire i pixel nei display convenzionali, ma possono essere di

qualsiasi forma senza perdere la loro funzione di unità di informazione, che può essere scura o chiara, creando così delle immagini. A volte, anche il concetto di display binario (bianco o nero) viene a mancare, lasciando spazio a sperimentazioni, ad esempio, con l'orientamento dei "pixel" lancetta²⁹. "Ho scoperto che i nostri occhi e la nostra mente sono molto sensibili all'orientamento degli oggetti, quindi semplicemente puntando in direzioni diverse, è possibile distinguere il primo piano dallo sfondo".

2.3.1. La raccolta di specchi

La raccolta delle opere dell'autore è stata portata in esempio poiché permette di comprendere la versatilità e le pressoché infinite possibilità di invenzione di un display fisico. Nei casi elencati di seguito è possibile vedere come i diversi materiali utilizzati possano essere trasformati in display grazie al movimento. Visitando il sito internet di Daniel Rozin³⁰ si può notare la suddivisione della produzione in sei diverse serie di opere: Mechanical Mirrors, Software Mirrors, Video Painting, Glass Sculptures, Proxxi Prints e Kinetic Sculptures.

La serie dei *Mechanical Mirrors* raccoglie tutte le opere che si comportano da veri e propri specchi fisici sfruttando computer, camere e motori. Viene riportato sul sito che "i *Mechanical Mirrors* sono realizzati con vari materiali ma condividono lo stesso comportamento e interazione; qualsiasi persona in piedi di fronte a una di queste opere viene immediatamente riflessa sulla sua superficie. Gli specchi meccanici hanno tutti videocamere, motori e computer a bordo e producono un suono rilassante mentre lo spettatore interagisce con essi". Oltre al già citato *Wooden Mirror*, prima opera del professore, sono di notevole interesse il *Trash Mirror* (Rozin, Trash Mirror 2001), del 2001, composto da 500 pezzi di rifiuti colorati raccolti dalle strade di New York, che fa riflettere lo spettatore su tutto ciò che viene gettato via, celebrando allo stesso tempo l'abilità di un computer di dare ordine anche alla più disordinata delle sostanze, la spazzatura; lo *Shiny Balls Mirror* (Rozin, Shiny Balls Mirror 2003), del 2003, composto da 921 tubi esagonali in alluminio anodizzato nero e altrettante

²⁹ Riferimento alle bacchette in plastica utilizzate nell'opera *Angles Mirror*, del 2014. In questa opera le forme vengono create attraverso il diverso orientamento di queste "lancette", che permette all'occhio umano di distinguere tra loro le forme.

³⁰ <http://www.smoothware.com/danny/>

sfere in plastica cromata riflettenti, che sfruttando i riflessi sulle sfere può formare il riflesso dello spettatore due volte, una volta su ogni sfera e una sull'intero pezzo; l'*Angles Mirror* (Rozin, *Angles Mirror* 2013), del 2013, già citato in precedenza, che non sfrutta il concetto di chiaro/scuro, come le altre opere, ma genera le immagini attraverso la rotazione di 465 lancette in plastica posizionate a forma di triangolo.



Figura 19. Esempio di immagine specchiata su *Angles Mirror*. Si può notare come la diversa rotazione delle lancette permetta al sistema percettivo umano di distinguere primo e secondo piano.

Nella serie dei *Glass Mirror* Daniel Rozin conclude il suo percorso di analisi e ritorna alla natura stessa del concetto di "specchio", elemento riflettente in base alle sue proprietà ottiche intrinseche. Come si può leggere dal suo sito, "questo gruppo contiene opere realizzate principalmente con il materiale degli specchi di vetro. Laddove tutte le altre opere della mostra adottano il paradigma o il modello di interazione di uno specchio, queste opere si basano sul materiale reale dello specchio e sul suo complesso comportamento ottico". Ad esempio, l'opera *Self Centered Mirror* (Rozin, *Self Centered Mirror* 2003), del 2003, è composta da 34 pannelli di specchi verticali e chiunque si trovi di fronte all'opera, vedrà sé stesso riflesso su tutti i 34 pannelli e lo specchio "rimuoverà

anche chiunque altro nello spazio dal riflesso, sollevando l'ultimo ostacolo dalla ricerca del narcisismo totale"; l'opera *Broken Red Mirror* (Rozin, *Broken Red Mirror* 2000, 2003) invece è un'installazione che richiede due muri opposti per essere esposta, su un muro si troverà uno specchio rotto, che rifletterà i pezzi di immagine disseminati sulla parete opposta e posizionandosi di fronte permetterà la visione corretta della fotografia della nota professoressa della New York University Red Burns³¹, sostituendola alla più aspettata riflessione di sé stessi.

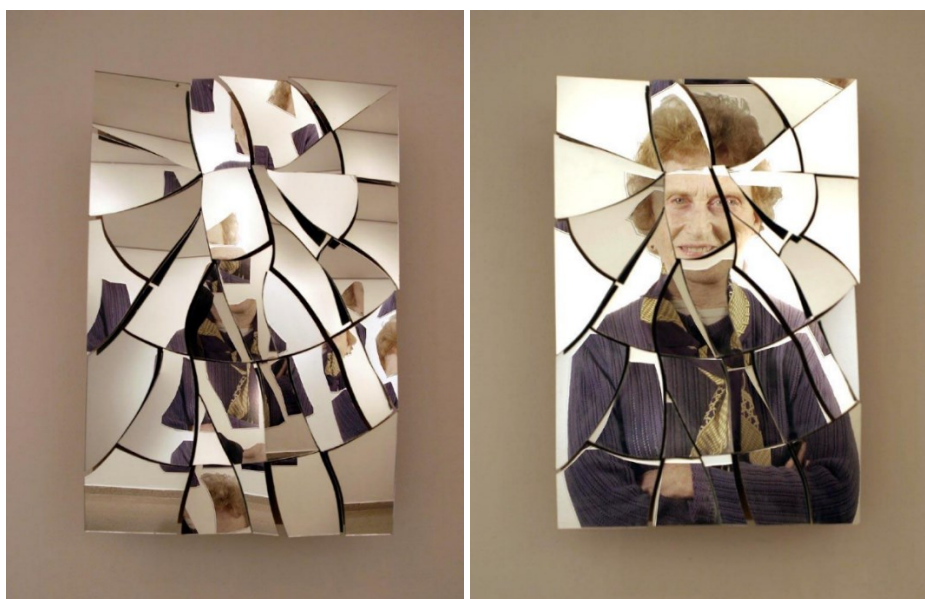


Figura 20. *Broken Red Mirror* visto in posizione angolata e in posizione frontale: l'immagine scomposta sulla parete opposta viene ricomposta.

2.4. KINEIN: *A Kinetic Display as a Research Product*

Il nome KINEIN deriva dalla forma all'infinito del verbo greco "muovere", κινέω, radice della parola "cinetica", e si tratta di un grande schermo cinetico quadrato di lato 3 metri circa, composto da 625 mattonelle colorate con una faccia bianca e quella opposta nera, con la possibilità di incastrarsi una con

³¹ Goldie "Red" Burns fu la fondatrice dell'Interactive Telecommunications Program (ITP), nella Tisch School of the Arts della New York University. È nota con il soprannome di "Godmother of Silicon Alley", la "nonna della Silicon Alley", il distretto tecnologico di New York, che riprende il nome dalla Silicon Valley californiana. Rozin ricopre il ruolo di Associate Arts Professor, ITP, NYU.

l'altra grazie ad un dispositivo di blocco. L'opera è stata pensata e creata da Eleni Economidou, Moritz Kubesch, Alina Krischkowsky, Martin Murer e Manfred Tscheligi, del *Center for Human-Computer Interaction* dell'Università di Salisburgo.

KINEIN è montato su una delle pareti della hall di ingresso alla Josef Rehr Schule³², una scuola per bambini e ragazzi non udenti, ipoudenti e udenti, a Salisburgo. L'obiettivo dell'opera è quello sia di attirare l'attenzione dei visitatori cercando di accrescere la consapevolezza riguardo la popolazione scolastica, sia di coinvolgere gli spettatori in modo giocoso.

Come riportato nella pubblicazione "KINEIN: A Making Guide on Indefinitely Deploying a Kinetic Display as a Research Product" (Economidou, et al. 2021) ciò che distingue questa installazione dagli altri *kinetic displays* è il meccanismo di movimento e lo scopo dell'interazione. Nella maggior parte dei display cinetici viene usato un grande numero di motori, spesso uno per ogni pixel che si utilizza, nascosti all'interno del meccanismo, mentre in KINEIN si fa un passo avanti e, oltre ad utilizzare un sostanziale minor numero di fotografie per l'evento, l'occultamento riguarda anche il movimento delle tessere, che si dispongono in una nuova immagine solo in assenza di spettatori. La forma dei "pixel" consente anche all'utente di manipolare in maniera tangibile le tessere, alterando l'immagine suscitata. Questa affordance si collega anche all'idea di computer visto come materiale che offre esperienze sensoriali quasi complete, non possibili in altri contesti.

Aspetto fondamentale di KINEIN è la tangibilità dell'opera stessa, in quanto gli studenti e visitatori della scuola Josef Rehr Schule possono manipolare l'orientamento delle tessere, mostrandone la faccia bianca o nera che più preferiscono, portando quindi l'installazione anche su un piano tattile. Normalmente la figura viene generata in modo motorizzato durante la notte e durante il giorno, grazie all'interazione delle persone, viene modificata diventando una "fusione della fragile immagine costruita dal meccanismo di KINEIN e le alterazioni uomo".

³² La scuola elementare, media e politecnico Josef-Rehr Schule di Salisburgo è una scuola speciale pubblica, in quanto centro di educazione speciale per i disabili sensoriali, in modo particolare per bambini non udenti o con problemi di udito. Dal 1990, i bambini con disabilità uditive e visive vengono assistiti da interpreti ed educatori.

Attivando il meccanismo quando nessuno lo osserva, si contribuisce a dare l'impressione che le immagini vengano costruite magicamente, e non sia un sistema elettronico a governare la visualizzazione.

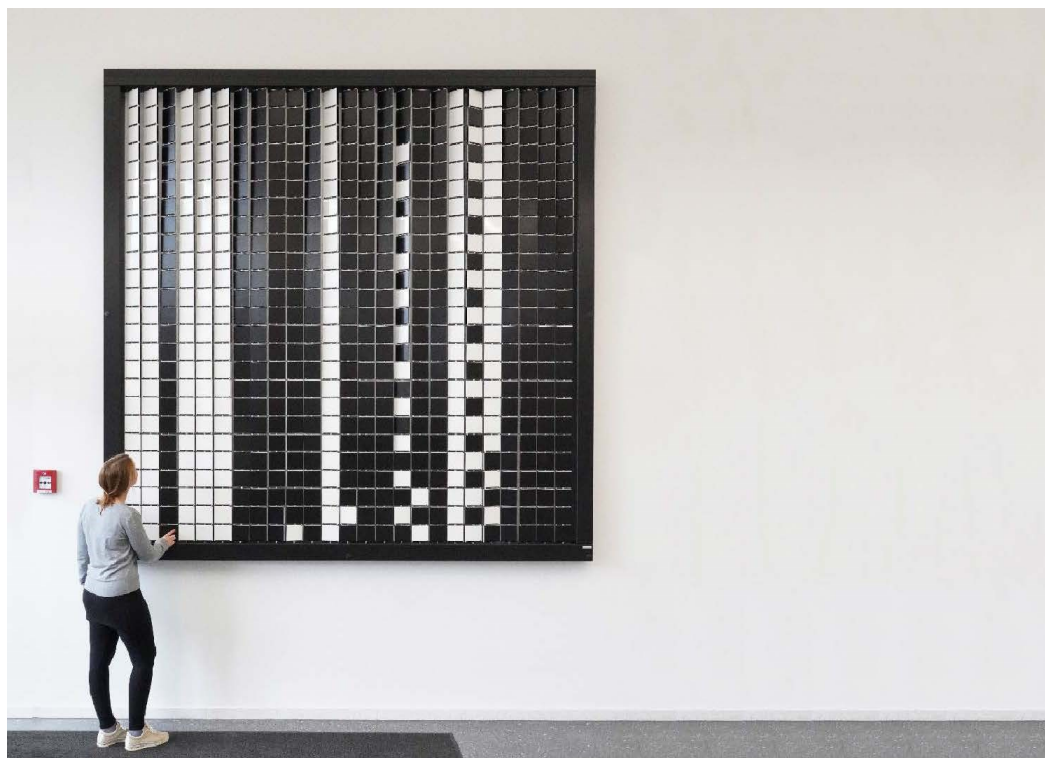


Figura 21. L'opera KINEIN nell'atrio della Josef-Rehrl Schule di Salisburgo.

Per riuscire ad ottenere un pannello di 625 mattonelle controllato da solamente 25 motori, KINEIN sfrutta un sistema di incastri. La scelta di diminuire drasticamente il numero di elementi motori è stata dovuta sia ad un fattore di costo ma anche alla semplicità di manutenzione. I blocchetti possiedono una sporgenza su un lato e due rientranze sull'altro, in modo che ogni mattonella possa incastrarsi in quella successiva ruotando, e portando in rotazione anche il resto della colonna.

Il funzionamento è spiegato in maniera semplice nella pubblicazione a corredo dell'opera. Ipotezzando una posizione iniziale con 4 mattonelle alternate bianco - nere, per raggiungere la totalità delle mattonelle nere, bisognerà far compiere alla prima una rotazione oraria di 540° . I primi 180° porteranno la prima mattonella al nero, e questa si bloccherà con la seconda, in modo che i successivi 180° siano compiuti solidalmente, portando tutte le prime 3

mattonelle al bianco. Infine, essendosi "unite" anche la seconda e la terza mattonella, gli ultimi 180° porteranno ad avere tutti i "pixel" neri.

Figure 21. I passaggi per raggiungere la totalità delle mattonelle nere, partendo da una posizione alternata bianco-nero.

L'implementazione finale del progetto consiste in una cornice quadrata di lato 2.7 m con spessore del profilo di 10 cm, all'interno del quale sono posti tutti i componenti elettronici e meccanici necessari al funzionamento dell'installazione. Oltre ai 25 motori (composti da un controller per la colonna e cinghia di distribuzione), uno per ogni colonna di mattonelle, è presente anche un alimentatore, un circuito di controllo e un Arduino UNO con collegato un Ethernet Shield³³.

Ogni elemento di controllo all'inizio di una colonna è composto da un microcontrollore (ATtiny 814³⁴) in comunicazione seriale con l'Arduino, che ricevendo in ingresso la sequenza delle tessere nella colonna, si occupa di azionare i motori (motori stepper con driver A4988³⁵) nel modo corretto. Il passaggio del movimento tra il motore e la prima mattonella avviene attraverso una cinghia di trasmissione di 8 mm. È presente anche una rotella di codifica posizionata sul manicotto di trasmissione in modo da posizionare correttamente il motore all'avvio e di monitorare il movimento per correggere eventuali guasti o passi persi durante il funzionamento. La scelta di avere circuiti di controllo indipendenti per ciascuna colonna consente di scaricare il microcontrollore centrale del controllo e il monitoraggio dei singoli motori, aumentando quindi prestazioni, stabilità e possibilità di manutenzione.

³³ L'[Ethernet Shield](#) di Arduino permette di connettere la board Arduino UNO ad Internet attraverso un cavo RJ45, in quanto la scheda di fabbrica non possiede un ingresso Ethernet o un modulo WiFi integrato. La connessione avviene attraverso la porta SPI e la velocità di connessione si aggira tra i 10 e i 100Mbps.

³⁴ Il microcontrollore [ATtiny814](#) è dotato di processore AVR a 8 bit e funziona fino ad un massimo di 20Mhz. Le dimensioni sono standard SOIC-14, circa 4 millimetri per lato.

³⁵ Il driver [Allegro A4988](#), 20mm x 15mm, permette di controllare motori *stepper* (passo-passo) attraverso Arduino o altri microcontrollori. È possibile anche effettuare micropassi utilizzando gli appositi ingressi segnalati.

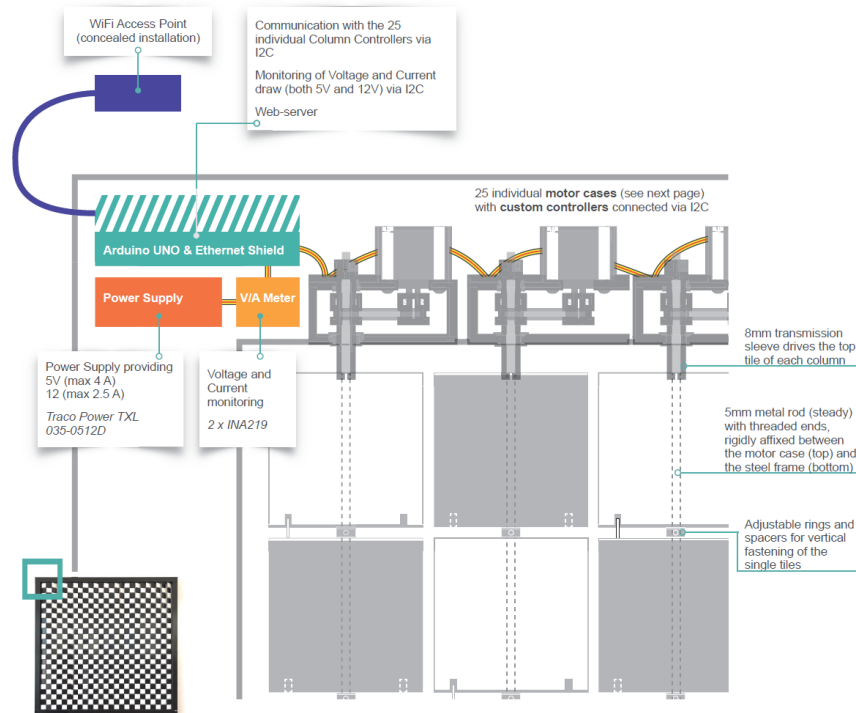


Figura 22. Schema di progettazione della posizione dei motori e dei circuiti di controllo all'interno della cornice dell'installazione. Da "KINEIN: A Making Guide on Indefinitely Deploying a Kinetic Display as a Research Product"

Si è deciso di portare in esame questo caso studio in quanto pone al centro della sua ricerca l'interazione continua degli spettatori. Sicuramente la caratteristica più peculiare che distingue questo progetto dai precedenti è la possibilità di interazione sul display stesso. Manipolando direttamente la visualizzazione delle informazioni contenute sul display, che in questo caso si traducono nei pattern di quadrati neri e bianchi, l'utente cambierà anche gli effettivi dati presenti nel sistema. Queste tipologie di display riescono ad integrare all'interno dello stesso dispositivo sia le caratteristiche di un sistema di output visivo sia di input di tipo tattile.

2.5. inFORM: a *Dynamic Shape Display* from MIT

Nel 2013 il Massachusetts Institute of Technology ha pubblicato diverse ricerche e video riguardanti inFORM, un "*Dynamic Shape Display*", ovvero una superficie che può modificare la sua forma grazie al movimento di attuatori posti sotto il display cinetico, dando così la possibilità di interagire con essa in diverse modalità.

Nel *paper* Shape Displays: Spatial Interaction with Dynamic Physical Form (Leithinger, et al. 2015), si possono leggere alcuni degli ambiti nei quali gli shape display possono essere utilizzati: "da progettisti industriali per eseguire rapidamente il rendering di modelli CAD fisici prima della stampa 3D, urbanisti per visualizzare fisicamente un sito, esperti medici per esplorare in modo tattile set di dati volumetrici o studenti per apprendere e comprendere le equazioni parametriche." inFORM non è solamente un display fisico, ma integra rendering fisico, proiezione sincronizzata, rilevamento della forma, tracciamento spaziale e manipolazione degli oggetti. In questo modo è possibile contribuire con "numerosi tecniche di interazione per la realtà virtuale, fisica e aumentata, in contesti di installazione e per la collaborazione remota".

Il display di inFORM è un'evoluzione del progetto Relief, sempre sviluppato dall'MIT nel 2011, ed è composto da 900 blocchetti (*pins*), che agisce da pixel, formando così un display ad una risoluzione di 0.03K, 30 x 30 pixel. Sotto il display, all'interno del mobile, si trovano gli attuatori, mentre sopra, il display viene integrato con delle camere di profondità e proiettori.

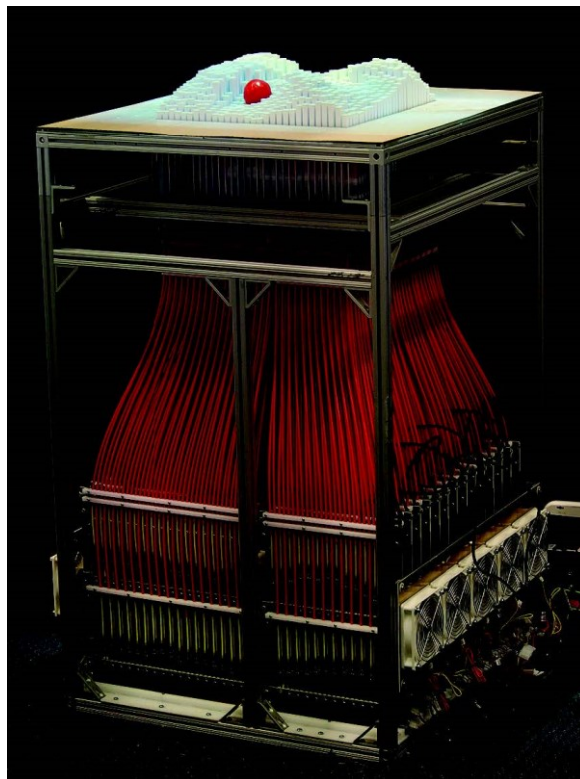


Figura 23. Spaccato delle componenti hardware previste per inForm: 900 attuatori meccanici, una camera di profondità e un proiettore

La particolarità degli *shape display* è quella di permettere non solo la visualizzazione dello spazio 3D, ma anche il contatto fisico e l'interazione attraverso la deformazione meccanica delle forme, senza l'ausilio di strumenti aggiuntivi. Il senso del tatto è stimolato non solo dalla forma dell'oggetto, ma anche dall'elasticità e resistenza alla deformazione. Infatti, è possibile controllare il feedback aptico dei materiali, comunicando resistenza, vibrazione, elasticità. Il tocco delle forme create può anche azionare delle azioni software come selezionare oggetti, spostarli, colorare i pixel, ecc.

Nel sistema inFORM sono stati implementati numerosi elementi dell'interfaccia utente nella forma di interfacce dinamiche, che possono funzionare sia come *affordance* "reali", sia come *affordance* percettive, poiché tradotte in veri oggetti in tre dimensioni. Alcuni esempi di questi elementi sono degli interruttori binari, quindi bottoni *on/off*, slider composti da diversi pin sollevati che possono essere toccati regolando l'input, come una regolazione di volume, superfici touch in due dimensioni, come quelle di un touchpad, che però possono anche essere non planari, o modificare forma nel tempo anche in base ai comandi ricevuti; rispetto ad uno schermo in due dimensioni, è possibile anche sfruttare l'asse Z, per la creazione di maniglie (*handles*), ovvero dei pin che possono essere manualmente presi e portati più in alto o più in basso. I vantaggi nell'uso di una superficie dinamica si possono osservare nella possibilità, ad esempio, di modificare la forma dei bottoni alla pressione, riposizionare o modificare il numero e tipologia di comandi condizionalmente al cambiare di altri input, oppure aumentare la dimensione di particolari controlli all'avvicinarsi della mano (in base alla legge di Fitts³⁶).

In aggiunta alle *affordance*, inFORM integra anche dei vincoli dinamici di diverso tipo, come delle conche, delle pareti, fessure, rampe, che limitano il movimento degli oggetti posti sopra alla superficie, guidando l'interazione con l'utente. Il sistema è dotato di sensori di pressione ed è quindi in grado di

³⁶ Paul Fitts (1912 – 1965) è stato uno psicologo della Ohio State University tra i primi ad attribuire l'errore umano alla scadente progettazione delle interfacce. I suoi studi lo portarono alla definizione della famosa Fitts's Law, la quale afferma che maggiore è la distanza dal target, maggiore sarà il tempo necessario per raggiungerlo e maggiore è la dimensione del target, minore sarà il tempo necessario per raggiungerlo. Questa legge ha avuto un enorme numero di implicazioni nel design della User Experience.

determinare sempre con precisione la posizione di eventuali oggetti posizionati sopra lo schermo.

Lo schermo del MIT può anche applicare forza meccanica agli oggetti su di esso e causarne quindi il movimento, espandendo così le possibilità di movimento. La forza degli attuatori è di 1.08N per ogni pin, permettendo di sollevare ed inclinare gran parte dei piccoli oggetti. Gli oggetti possono anche essere traslati sugli assi X e Y sfruttando tecniche diverse, come la creazione di piani inclinati per permettere lo scivolamento o rotolamento dell'oggetto, oppure anche facendolo ribaltare ripetutamente.

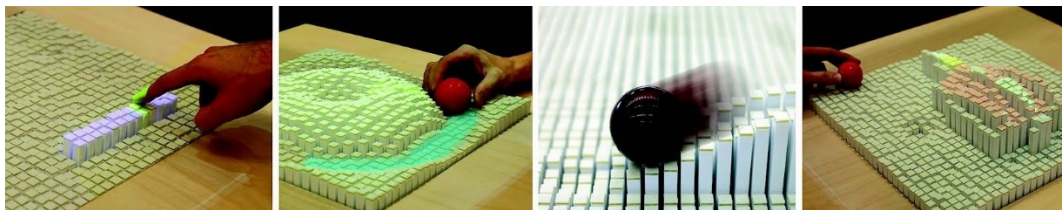


Figura 24. Modalità di interazione di inForm. Da sinistra a destra: uno slider per la User Interface (affordance dinamiche), una conca (vincolo dinamico), e una modalità di traslazione degli oggetti

Un'importante funzione del sistema inFORM studiata dal gruppo di ricerca del MIT è la possibilità di trasmettere forme in tempo reale, permettendo così la telepresenza anche a livello fisico. Secondo i ricercatori, il livello di comunicazione proposto dalle videoconferenze e dagli ambienti in realtà mista non può colmare la necessità degli aspetti fisici della collaborazione, in quanto i partecipanti possono solo essere presenti visivamente, con possibilità di interazione limitate. La proposta del MIT consiste nell'uso di *Tangible User Interfaces* (TUI), che al posto di incarnare i partecipanti, permettono la sincronizzazione degli oggetti su uno schermo fisico condiviso, estendendoli in modo da aggiungere anche aspetti di *physical embodiment*, come ad esempio la materializzazione delle mani che manipolano un oggetto.

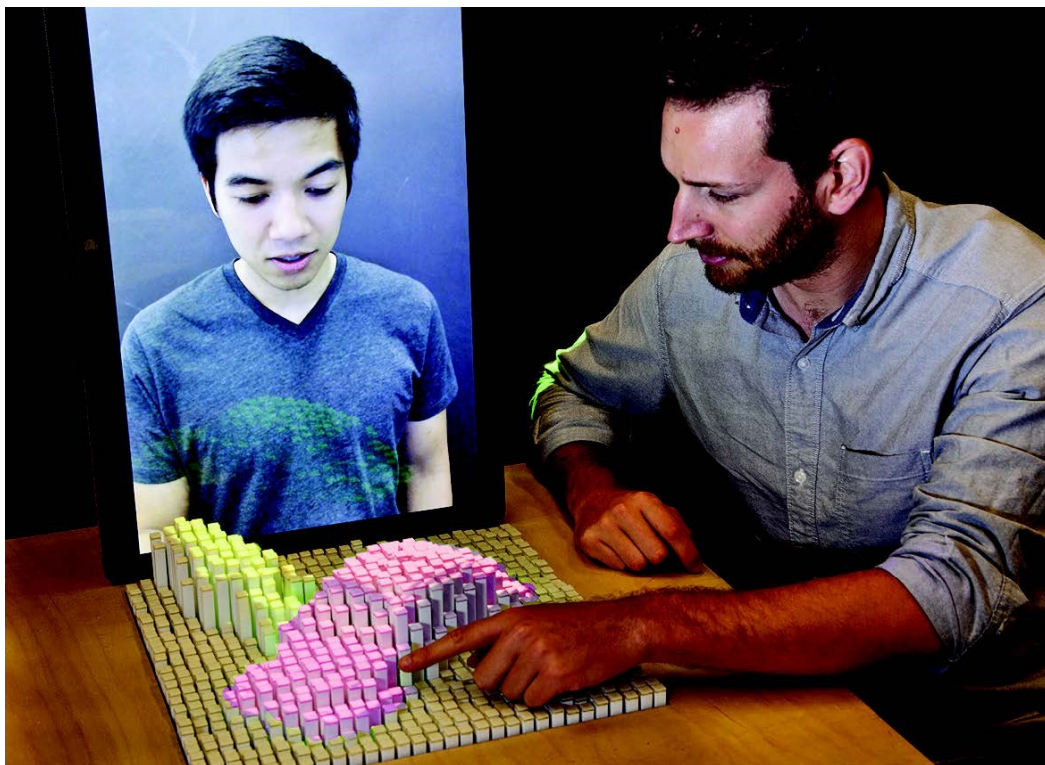


Figura 25. Un esempio di telepresenza in cui i due interlocutori interagiscono con un modello tridimensionale di un'automobile.

2.6. Drone Art

La Drone Art può essere vista come una forma di display che, contrariamente alle altre modalità viste fino ad ora, trova il suo spazio in cielo. Si è deciso di portare in esame questa tecnologia, anche se molto distante dalla concezione tradizionale di schermo, in quanto dopo un'attenta analisi è possibile riconoscere diverse analogie con quanto detto riguardo i display fisici e le grandi opportunità di possibili sviluppi futuri.

Prima caratteristica che accomuna la *drone art* con i display fisici cinetici è la modalità con la quale vengono generate le immagini e le forme, utilizzando oggetti reali e fisici in grado di spostarsi nello spazio. Gli show di droni utilizzano infatti un grande numero (anche migliaia) di UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*), solitamente quadricotteri, grazie alla loro grande versatilità e manovrabilità, che volano coordinati tra loro con una luce montata, in modo da creare con essa forme ed animazioni nel cielo notturno. Confrontando questo tipo di tecnologia con *Kinetic Sculpture - The Shapes Of Things* analizzata precedentemente, è possibile immaginarla come l'aggiunta di altri due gradi

di libertà alle sfere che componevano l'opera di ART+COM, in modo da permettere la traslazione in tutte e tre le dimensioni dello spazio.

Il primo spettacolo di droni, SPAXEL, è stato presentato nel 2012 da Ars Electronica FutureLab ³⁷a Linz, in Austria. Gli Spaxels, termine che abbrevia la forma "*Space Elements*", hanno definito un nuovo tipo di visualizzazione nello spazio, fornendo anche un'alternativa non inquinante, riutilizzabile, ma soprattutto computerizzata, ai classici fuochi d'artificio. I droni nel cielo creano una nuvola di punti luminosi il cui corpo è completato dalla nostra immaginazione, invertendo l'immagine dei droni come dispositivi utilizzati per la sorveglianza o la ripresa di fotografie o video, diventando gli osservati anziché gli osservatori (Ars Electronica Futurelab 2012).



Figura 26. Un'immagine a lunga esposizione dello spettacolo SPAXEL, sulla riva del Danubio.

I software che gestiscono lo spettacolo sono avanzati sistemi di automazione progettati specificatamente per esibizioni dal vivo e permettono di controllare singolarmente da uno a potenzialmente migliaia di multirotori. Questi sistemi sono ancora ai primi anni di utilizzo e sono in rapido sviluppo grazie all'importante ricerca attuata nei campi della robotica e dell'intelligenza

³⁷ [Ars Electronica FutureLab](#) è un laboratorio e atelier, *think-and-do tank* di Ars Electronica, che si concentra principalmente su sistemi futuri, ponendo sempre l'essere umano al centro della ricerca, considerando gli aspetti sociali degli sviluppi tecnologici. FutureLab crea visioni future, interfacce tra arte, tecnologie e società, discute metodi per accompagnare la creatività con lo sviluppo tecnologico, modella le tendenze e le visioni future.

artificiale, ma è già chiaro il potenziale di trasformazione dell'esperienza degli eventi dal vivo.

Si può riconoscere nel software di controllo e progettazione uno dei principali punti di contatto tra i *drone show* e i display. Questi complessi sistemi di controllo, infatti, riescono a tradurre un'immagine, illustrazione o animazione in comandi di volo per i droni. Si può pensare al software di controllo come il sistema che, prendendo in ingresso i punti di una linea, li traduce in pixel accesi o spenti sul nostro monitor. L'input iniziale di ogni spettacolo è quindi di tipo creativo ed è pensato per veicolare un'informazione al pubblico. Il grande limite è sicuramente la non interattività di questi sistemi, poiché le illustrazioni, i testi e i dati visualizzati sono ideati e posti in sequenza dal gruppo di design e non possono essere modificati da parte degli utenti.

Le sfide principali di questa tecnologia rimangono ancora oggi la sicurezza e l'affidabilità. Questo nuovo utilizzo dei droni a guida autonoma comporta il volo in occasione di esibizioni dal vivo per eventi di grande portata, spesso effettuato in prossimità di folle di persone, ed è di conseguenza necessario possedere requisiti unici in termini di sicurezza e di gestione dei rischi, che possono essere sia di materiali, assicurativi, umani, ma anche dovuti al marchio o alla reputazione, considerata la grande visibilità pubblica degli eventi. Altri requisiti fondamentali sono quelli di affidabilità ed operatività nel settore degli eventi dal vivo, che necessitano di macchine intelligenti, con un elevato grado di autonomia nella decisione e ridondanze, nonché un basso costo di manutenzione.

I *drone shows* portano con sé un grande valore artistico, derivato dalla capacità dei designer di creare immagini e sculture suggestive nello spazio, animandole e sincronizzandole con musica, proiezioni, esibizioni dal vivo. Questi sistemi permettono una grandissima flessibilità, permettendo il controllo del singolo pixel sia per quanto riguarda la posizione nello spazio sia la scelta del colore dell'illuminazione. A differenza dei pixel digitali di uno schermo o dei pixel fisici visti nei precedenti esempi di *physical display*, i droni hanno una possibilità di movimento mai vista in precedenza, possono muoversi liberamente nello spazio con un'intenzione ed uno scopo, entrando nello spazio degli spettatori, creando sculture tridimensionali in grado di

sorprendere, incuriosire, emozionare. L'utilizzo di un gran numero di droni può essere utilizzato per creare comportamenti naturali di stormi o sciame, ma anche per creare illusioni convincenti di oggetti che fluttuano nello spazio, sfruttando l'immaginazione umana di ricostruzione delle forme.



Figura 27. Alcuni droni dell'azienda SkyMagic pronti a decollare per uno show.

Quando si opera in uno spazio aereo ridotto, il controllo autonomo consente un funzionamento più sicuro dei droni rispetto al controllo remoto da parte di piloti umani. Negli spettacoli di droni si utilizza quindi sempre un sistema intelligente che controlli la corretta esecuzione della coreografia progettata sotto la supervisione di un operatore umano, mentre i robot in volo si pilotano in autonomia, seguendo il percorso e le modalità definite in fase di progettazione, eliminando la necessità di un collegamento stabile con sistemi a terra.

La pianificazione dei voli viene effettuata attraverso dei software in grado di gestire tutte le dinamiche di volo effettive, considerando la potenza di motori dei droni, le turbolenze create in aria del movimento, le eventuali portanze create da oggetti aggiunti al quadricottero, la possibilità di leggeri venti in quota. Oltre alla posizione in forme, deve essere calcolata la traiettoria di ogni spostamento, in modo da garantire sicurezza ma anche rapidità di movimento senza collisione, nonché le fasi di decollo e di atterraggio. In caso di malfunzionamento o necessità di atterraggio di un componente dello stormo, è necessario anche che le traiettorie possano essere ricalcolate in realtime, per garantire spostamenti sicuri anche in situazioni di emergenza.

Per consentire un'alta precisione nell'esecuzione delle forme, i droni necessitano di un metodo affidabile per determinare la loro posizione nello spazio. Solitamente ci si affida a sistemi di localizzazione come il GPS oppure nel caso di volo interno o in prossimità di ostruzioni per il segnale satellitare, sistemi IPS³⁸, con una precisione a livelli molto alti in quanto base per il volo autonomo e poiché potrebbero determinare condizioni inaffidabili e non sicure per il volo.

In un'intervista con DroneDJ, Ollie Howitt, *Creative Associate* di SKYMAGIC, racconta qualche informazione di backstage degli spettacoli di una delle aziende leader del settore. L'obiettivo di SKYMAGIC, afferma, è sempre quello di garantire che le formazioni evocino la storia e i temi centrali dello spettacolo nel modo più vivido e convincente possibile. "Se da un lato forniamo indicazioni dal punto di vista tecnico, dall'altro poniamo un'enorme enfasi sulla creatività", spiega Howitt, "Raccontare queste storie nel cielo e guidare i clienti su ciò che funzionerà meglio dal punto di vista visivo è qualcosa che amiamo fare e che facciamo molto bene".

Una volta creato lo storyboard insieme ai clienti, viene creata l'animazione attraverso software proprietari e "quello che si vede nel video finale è esattamente quello che si vedrà quando i droni voleranno in cielo". L'azienda utilizza solo software sviluppati internamente, così come i droni, progettati e sviluppati da SKYMAGIC per i propri spettacoli.

Le limitazioni imposte dalla tecnologia sono principalmente sulla durata e sulla porzione di spazio utilizzata per l'esibizione. Howitt spiega che la dimensione dell'area di decollo e di atterraggio deve essere di almeno 500 metri quadri per uno spettacolo da 500 droni, mentre una volta in volo deve essere mantenuta una distanza di almeno 100 metri da tutte le infrastrutture, tra cui palazzi e strade, e dalle persone non coinvolte nella produzione. Per quanto riguarda la capacità delle batterie, SKYMAGIC ha deciso di utilizzare delle batterie con celle

³⁸ *Indoor Positioning System*, rete di dispositivi utilizzati per la localizzazione di persone o oggetti in luoghi in cui i sistemi satellitari non sono precisi o non sono utilizzabili. Possono essere usati diversi dispositivi per l'uso dei sistemi IPS, come smartphone, antenne WiFi o Bluetooth, camere digitali, in modo da utilizzare onde radio, campi magnetici, segnali acustici, per raggiungere una precisione di 2 cm, pari a quella ottenibile dai sistemi satellitari in ottime condizioni all'aperto.

litio-polimero, che garantiscono un'autonomia di massimo 20 minuti, che deve comprendere accensione, decollo, raggiungimento della posizione, spettacolo e atterraggio, con un po' di rimanenza di emergenza. La durata di uno show è quindi da considerarsi di massimo 6-8 minuti, il che permette la creazione fino a 10 forme tridimensionali. "Troviamo che questa sia la durata naturale di uno spettacolo. Se la durata è maggiore, si ha la sensazione di aver visto abbastanza", spiega Howitt.

Una volta che i droni sono in posizione, l'operatore dà l'avvio al programma e monitora il corretto funzionamento dell'esibizione. "Ogni drone è pre-programmato per volare lungo il proprio percorso individuale. Mentre sono in volo, non si parlano - non sanno dove si trovano gli uni con gli altri - ma volano lungo il loro percorso prescritto. Se si discostano da questo percorso, entrano in gioco il *geo-fencing*³⁹ e i protocolli di sicurezza".

Il record per il più grande spettacolo di droni, più precisamente *Guinness World Record: Most Unmanned Aerial Vehicles airborne simultaneously*⁴⁰, è stato registrato il 18 Maggio del 2021 a Shenzhen in occasione del centesimo anniversario della fondazione del Partito Comunista. "*Single Fire: A Hundred Years Of Light*", è stato creato dalla *Shenzhen High Great Innovation Technology Development Co*⁴¹. e dal *China Central Radio and Television New Media Center*⁴² e prevedeva l'uso di 5164 droni all'interno di un articolato

³⁹ Il *geo-fencing* è una pratica che implica l'uso dei *geo-fence* ("geo-recinzioni").

Prevede dispositivi capaci di determinare la propria posizione e capire se si trovano all'esterno di un perimetro virtuale prestabilito nel mondo reale, attivando in tal caso degli algoritmi di risposta.

⁴⁰ Nel portale [guinnessworldrecords.com](https://www.guinnessworldrecords.com) è possibile trovare l'elenco completo di tutti i record certificati. Ad oggi, il record per il [*Most Unmanned Aerial Vehicles airborne simultaneously*](#) è detenuto da SHENZHEN HIGH GREAT INNOVATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT CO., LTD.

⁴¹ La *High Great* è una azienda fondata nel 2014 con sede a Shenzhen, il polo di innovazione tecnologica cinese, specializzata nella ricerca e sviluppo e nella produzione e vendita di droni (UAV). Si tratta dell'azienda leader di intrattenimento con i droni della nazione e ha lavorato per i più grandi eventi in Cina, tra cui il Capodanno cinese 2020, il centenario del Partito Comunista nel 2021, le Olimpiadi Invernali del 2022.

⁴² Si tratta di un gruppo di ricerca della *China Central Radio and Television General Station*, anche nota come *China Media Group*, principale azienda di media a controllo statale della Repubblica Popolare Cinese.

spettacolo di luci e musica della durata di 26 minuti e 26 secondi, per un totale di 88 immagini create.



Figura 28. Una delle 88 figure create in occasione del Centenario del Partito Comunista Cinese il 18 Maggio 2021 a Shenzhen

Ad oggi questa tecnologia permette unicamente la visione collettiva di sequenze create in anticipo, così come potrebbe essere stato lo schermo tradizionale che tutti noi conosciamo, agli albori. Non è difficile immaginarsi in un futuro non troppo lontano, una significativa riduzione delle dimensioni degli elementi volanti e un aumento dell'autonomia, in grado di consentire movimenti più contenuti e in ambienti chiusi. Queste condizioni potrebbero portare ad un inserimento dell'interattività nel sistema, facendo da parte l'idea di visione collettiva in stile "sala cinematografica", fino anche a creare un display in grado di prendere vita a tutto tondo intorno all'utente. Le possibilità e le opportunità offerte da questo scenario ad oggi ancora molto visionario, che riesce a sfruttare l'assenza di una infrastruttura che muova meccanicamente i pixel, sono numerose.

3. La visualizzazione delle informazioni e l'interazione con i display fisici

La visualizzazione delle informazioni, nel senso più generale delle rappresentazioni fisiche, è più antica dell'invenzione della scrittura, e chiama in azione il pensiero visivo e una serie di abilità che gli esseri umani hanno sviluppato per crearle ed esplorarle. I computer hanno aumentato enormemente le quantità di dati che si possono raccogliere ed elaborare e hanno diversificato i modi in cui si possono rappresentare visivamente. L'ampliamento delle possibilità tecnologiche, al di là dei classici schermi ed interazioni desktop, ha aperto nuove strade e fatto emergere nuove opportunità. Non solo superfici di visualizzazioni diverse, come quelle trattate in questa tesi, ma anche nuove tecnologie di input utilizzabili per la manipolazione delle viste.

La rappresentazione visiva ha una lunga storia, e da sempre ha permesso alle persone di ragionare sulle informazioni usando la vista, per riconoscere tendenze, correlazioni e anomalie. La maggior parte delle visualizzazioni di dati nell'Ottocento è stata relativa a statistiche sulla popolazione e agli esercizi commerciali. Con l'avvento del computer la creazione automatica di grafici con dataset di grandi dimensioni è diventata possibile e presto questi diventarono dinamici ed esplorabili interattivamente.

Guardando al passato, si può scoprire che la rappresentazione fisica delle informazioni fu inventata prima ancora della scrittura. Testimonianze archeologiche attestano già nell'era preistorica l'uso di legnetti e altri oggetti per tenere traccia di fenomeni naturali. Attraverso la contemporanea tendenza delle *Tangible User Interfaces* (TUIs), gli oggetti fisici tridimensionali si fondono con i sistemi informatici odierni, fornendo dei punti di accesso fisici per la visualizzazione informazioni e funzionalità informatiche (Lee, et al. 2012). Tuttavia, le TUIs riportano nel mondo fisico il lato dell'input dell'utente, tralasciando invece l'output. Benché di svariate dimensioni, alcuni ricurvi, altri

pieghevoli o arrotolabili, i display utilizzati nella maggior parte dei casi per la visualizzazione delle informazioni sono ancora dei classici schermi in due dimensioni.

Parallelamente all'evoluzione dei sistemi informatici, artisti e designer, ma anche scienziati e analisti, hanno cominciato ad utilizzare elementi reali per creare schermi fisici, la cui forma è limitata solo dai materiali disponibili e dalle leggi della fisica. Abbandonate per un certo periodo di anni successivi all'avvento dei computer, questo tipo di visualizzazioni sono ad oggi sempre più in crescita: sembrano essere più avvincenti, espressive e in alcuni casi anche più efficaci rispetto a quelle su schermo (Vande Moere e Patel, *The Physical Visualization of Information: Designing Data Sculptures in an Educational Context* 2009).

3.1. *The Value of Visualization*

In *The Value of Visualization*, pubblicato dall'*Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*, J.J. Van Wijk cerca di trovare una modalità con la quale poter valutare cosa sia una buona visualizzazione (van Wijk 2005). Nell'articolo, l'autore adotta un punto di vista tecnologico in cui il valore della visualizzazione viene misurato in base all'efficacia e all'efficienza. A partire da un modello economico di visualizzazione, vengono stabiliti costi e benefici e discussi i limiti e le conseguenze della visualizzazione.

Il professore dell'università di Eindhoven propone l'utilizzo della redditività economica come metro di misura della validità del metodo di visualizzazione posto in esame. Eseguendo una semplificazione grossolana, si possono individuare quattro livelli differenti di costi:

- Costi di sviluppo iniziale (*Initial development costs*), i quali comprendono l'acquisto di nuovi hardware e l'implementazione e sviluppo, in modo da rendere visibili i dati;
- Costi iniziali per utente (*Initial costs per user*), che comprendono il tempo speso dall'utente per acquisire il tipo di visualizzazione ed adattarla alle sue necessità;

- Costi iniziali per sessione (*Initial costs per session*): i dati devono essere convertiti e deve essere prodotta una descrizione iniziale dettagliata della visualizzazione per ogni nuovo set di dati
- Costi di percezione e di esplorazione (*Perception and exploration costs*), ovvero il tempo speso dall'utente per guardare la visualizzazione e capirla, compreso anche il tempo per manipolare i dati ed esplorare i contenuti disponibili.

La somma di questi costi, pesata con determinati valori quali il numero di utenti, il numero di sessioni e gli step di esplorazione, permettono di ottenere il costo totale. Da questo, è possibile trovare il ritorno sull'investimento e il profitto totale, fornendo la ricetta per decidere il valore di un particolare metodo di visualizzazione. Chiaramente, un buon metodo è usato da molte persone, che lo usano spesso ottenendo conoscenze di gran valore, senza la necessità di spendere troppo tempo e soldi in hardware, software e *effort*.

Gli schermi fisici a prima vista sicuramente incrementano i costi iniziali di sviluppo e i costi per sessione e per utente. Con l'avanzare delle tecnologie odierne, tuttavia, i costi per la fabbricazione della tecnologia sono in diminuzione e potrebbero dunque essere quasi comparabili a quelli classici. Per eguagliare il costo di un display 2D, dunque, gli schermi fisici dovrebbero abbattere i costi di percezione e di esplorazione. Come verrà approfondito nel paragrafo dedicato alle tecnologie per l'interazione, i *physical display* hanno la caratteristica sia di costituire un artefatto che incuriosisce lo spettatore sia di porsi ad una "distanza" molto più ravvicinata all'utente rispetto ad uno schermo virtuale tradizionale, favorendo un'esplorazione più naturale dei contenuti.

A questo proposito, è interessante il punto di vista fornito dal co-founder dello studio BREAKFAST New York, Andrew Zolty riguardo al dualismo di arte e sistema informativo dei loro prodotti: "La definizione di *design* è *arte funzionale*. Il punto di vista artistico significa semplicemente che non sono degli schermi sgradevoli, ma piuttosto qualcosa di molto bello che vuoi guardare indipendentemente da quello che sta mostrando. Ciò si traduce in un display che è più coinvolgente e attira più sguardi su di esso." In questa ultima

osservazione risiede gran parte del “segreto” degli schermi fisici. La capacità di essere visti anche come oggetti di design, prodotti dell’arte, oltre che della tecnologia, abbatta i costi di percezione ed esplorazione individuati da Van Wijk.

3.2. Visualizzazioni fisiche e virtuali

Un *information display* può essere definito come un dispositivo in grado di presentare informazioni ad un osservatore in forma visiva. Questo tipo di definizione permette di includere l’uso di qualsiasi tipo di materiale e tecnica in grado di esprimere dei dati in forma visiva, come schermi dei computer, proiettori, oggetti fisici, macchine motorizzate. Inoltre, è possibile individuare due azioni fondamentali che devono necessariamente caratterizzare un *information display*: l’ispezione visiva dei dati e la manipolazione delle visualizzazioni.

Considerando i display per la visualizzazione delle informazioni, possiamo affermare che questi devono necessariamente richiedere una manifestazione fisica di qualche tipo o dei dispositivi in grado di emettere della luce, in modo da creare le forme della visualizzazione. Per classificare le visualizzazioni in fisiche e virtuali è possibile porre nella prima categoria quelle che utilizzano dei display composti da materia fisica, in opposizione a quelli derivati da schermi o proiezioni.

Poiché i dati astratti non posseggono una controparte naturale che possa essere riprodotta graficamente, la sfida della visualizzazione consiste nel progettare, sviluppare e valutare nuove metafore di mappatura dei dati per presentare le informazioni nelle modalità più facilmente percepibili e comprensibili. Tuttavia, come afferma Andrew Vande Moere in *“Beyond the Tyranny of the Pixel: Exploring the Physicality of Information Visualization”*, nell’odierna società dell’informazione, l’accesso ai dati è diventato pervasivo e le persone sono già esposte agli schermi dei computer (e degli smartphone) più a lungo di quanto non lo siano alla natura o ad altri esseri umani. Schermi e proiezioni, attirano l’attenzione e spesso ricordano strumenti di produttività piuttosto che un mezzo tranquillo che incoraggia contemplazione, analisi e riflessione. Considerando invece le capacità di comunicare di molti oggetti

fisici, materiali grazie alle possibilità naturali che possiedono, si può affermare che ciò che un display privo di pixel luminosi potrebbe perdere in termini di risoluzione, potrebbe compensarlo con un'esperienza più ricca, intrigante, memorabile (Vande Moere, *Beyond the Tyranny of the Pixel: Exploring the Physicality of Information Visualization* 2008).

Le visualizzazioni fisiche hanno la capacità di trasmettere messaggi che vanno anche al di là dei dati stessi, possono incoraggiare le persone a riflettere sul loro significato e a cambiare il comportamento, producendo quindi nel complesso un'esperienza più piacevole, coinvolgente ed educativa. Secondo Vande Moere, la comunicazione dei dati sarà progressivamente "spinta al di fuori dello schermo digitale, verso le nostre esperienze quotidiane di realtà fisica".

È possibile definire il livello di interattività di un display misurando la quantità di cambiamenti che un utente può apportare alla visualizzazione. Gran parte degli schermi pubblici informativi sono non-interattivi di design, come ad esempio i tabelloni che segnano gli orari nelle stazioni. Altri display invece supportano solo delle interazioni semplici, come ad esempio la panoramica e lo zoom nel caso si tratti di visualizzazioni virtuali, oppure il sollevamento o la rotazione nel caso fisico. I concetti di schermi fisici o virtuali quindi, non comportano delle caratteristiche predefinite di interattività, caratteristica scollegata da quella di fisicità o tangibilità.

3.3. Controlli fisici e virtuali

Gli strumenti per controllare degli schermi informativi possono essere molto diversi tra loro, da semplici pulsanti o interfacce naturali, a molto più complicati, come controller tracciati tridimensionalmente nello spazio (ad esempio i controller Meta Quest, in grado di tracciare i movimenti delle mani e delle dita per il controllo delle applicazioni in Realtà Virtuale).

I controlli possono essere pensati e modellati come strumenti informativi a loro volta, in quanto devono essere in grado di trasmettere informazioni ad un utente del sistema sul loro scopo, modalità di utilizzo e condizione attuale. Questo concetto è stato precedentemente studiato nella psicologia percettiva

da James J. Gibson con il termine *affordance*, introdotto in seguito nell'ambito delle HCI da Donald Norman, con il libro *The Psychology of Everyday Things*, del 1988.

Norman, che negli anni ha guadagnato l'epiteto di *Grand old man of UX design*, afferma che *"When affordances are taken advantage of, the user knows what to do just by looking: no picture, label, or instruction needed."* Una *affordance* non è quindi una proprietà di un oggetto, quanto una possibilità di azione nella relazione tra l'oggetto e l'utente. La definizione di *affordance* indica qualcosa con proprietà sia attuali (la forma, il materiale, le caratteristiche fisiche di un oggetto) sia percepite (come dovrebbe essere utilizzato un oggetto). Quando le due tipologie di proprietà si combinano, emerge un'*affordance*, una relazione che tiene unito oggetto e utente che lo sta utilizzando.

Nella quasi totalità dei casi risulta necessario qualche interfaccia fisica per il controllo dei sistemi che gestiscono i display, in quanto anche nel caso di una GUI, il controllo risulta virtuale, ma viene gestito attraverso un mouse, oppure uno schermo touchscreen, elementi fisici che permettono all'utente di intervenire e manipolare. Anche nel caso dell'interazione con *gestures mid-air*, è possibile individuare una videocamera o un sensore che permette il riconoscimento dei movimenti, che avrà dunque delle caratteristiche fisiche come ad esempio l'area di *detection*, la risoluzione, la latenza, il posizionamento rispetto al display utilizzato.

I controlli tangibili sono una classe di controller del mondo fisico legati a dei display informativi virtuali, creando dunque dei sistemi ibridi fisici-digitali. I controlli virtuali possono essere "resi fisici", trasferendo la parte logica degli strumenti nel mondo fisico, creando così dei controlli tangibili, *affordance* più immediate e comprensibili dagli utenti. Questa operazione può essere utilizzata per trasformare dei controlli *time-multiplexed* (sistema in cui un singolo controllo fisico può attivare diversi strumenti nel tempo, come ad esempio un mouse, o uno schermo touchscreen) in controlli *space-multiplexed* (sistema in cui ogni controllo fisico è collegato ad una singola operazione su uno strumento). Una GUI *space-multiplexed*, dove ogni strumento logico è disposto nello spazio dell'interfaccia, che viene riportata nel

mondo fisico, darà vita a diverse maniglie (*handles*) fisiche che rispecchiano quelle virtuali, in grado di agire direttamente sullo strumento logico.

3.4. Tecnologie per l'interazione con i display fisici

In questa tesi si sono volute studiare diverse modalità di visualizzazione di dati e di interazione con un display flip-disc. L'interazione con le visualizzazioni su queste tipologie di display rappresenta un interessante campo di ricerca e sperimentazione per controlli *embodied*, non esistendo ad ora alcun tipo di standard riguardo dispositivi e tecniche di input.

Grazie agli esempi di schermi fisici ed installazioni cinetiche visti nel capitolo precedente è possibile creare una raccolta delle tecnologie affermate e in corso di sviluppo per i dispositivi di interazione con i sistemi artificiali. Con dispositivi di interazione si intendono tutte le unità che possono eseguire o percepire un comportamento interattivo. In modo particolare, nella raccolta che segue verranno inclusi i dispositivi che catturano input di tipo fisico dall'utente, controller fisici composti da pulsanti, slider, manopole rotative, controlli *touchless*. Inoltre, si ritiene interessante considerare anche i dispositivi che non interagiscono direttamente con l'utente ma piuttosto con l'ambiente a lui circostante, sensori in grado di dialogare con l'ambiente, sia fisico sia digitale.

Al giorno d'oggi, diversi sono gli schermi che si possono trovare in ambienti pubblici, molti dei quali permettono l'interazione. In questi casi molto spesso è la dimensione del display e il contenuto che si rivolge agli utenti a determinare la tecnologia migliore da utilizzare. Ad esempio, su schermi di dimensioni relativamente piccole, sono più diffuse le interfacce tangibili, mentre le dimensioni più grandi spesso richiedono la ricerca di altri tipi di tecnologie. In circostanze in cui le applicazioni sono molto specifiche, l'uso di un certo tipo di interfaccia risulta più difficile di altre, come ad esempio in applicazioni ludiche, in cui i paradigmi di interazione sono al cuore dell'esperienza di gioco.

Nel caso dei display fisici, come si è potuto notare anche nella raccolta di casi studio esposta in precedenza, le caratteristiche fisiche degli schermi stessi

precludono a priori l'utilizzo dell'interazione *touch-screen*, tra le più comuni ad oggi. Sono tuttavia molteplici le tecnologie che rimangono a disposizione degli interaction designer, tra cui il grande campo di studio delle interfacce *touchless*, o *free-form*, che sfruttano il movimento del corpo degli utenti eliminando l'interazione fisica diretta.

Caratteristica di molti schermi fisici è la possibilità di agire e manipolare direttamente sullo schermo, sfruttandone la fisicità. Questo tipo di interazione, vista in precedenza con il progetto inFORM, del Massachusetts Institute of Technology, e KINEIN, dell'Università di Salisburgo, risulta essere unica ed impossibile da riprodurre su altri tipi di display di tipo virtuale. In particolare, il display del MIT rientra nella categoria degli *shape displays*, schermi in grado di agire sia da input sia da output, rappresentando dinamicamente le forme e le geometrie e permettendone la diretta manipolazione.

Gli schermi fisici hanno la caratteristica di trovarsi più "vicini" alle attività umane e hanno spesso lo scopo di mettere in mostra informazioni o fornire esperienze utente più legate al contesto in cui si trovano. Dourish, afferma che l'uso dell'ambiente fisico come *medium* per l'espressione delle informazioni digitali è una delle modalità in cui si presenta la fisicità. Per questo motivo, gli schermi fisici si integrano molto spesso con il mondo in cui sono posti, e per farlo possono utilizzare sensori in grado, ad esempio, di riconoscere la presenza di utenti, ma anche fattori ambientali quali ad esempio le condizioni atmosferiche, condizioni di luce o temperatura.

Altre volte i display fisici vengono usati come strumento per connettere virtuale e digitale, come ad esempio nel caso di *Forever 21 Thread Screen*, di BREAKFAST New York. In questo caso, gli utenti erano in grado di comunicare con il display da diverse parti del mondo, grazie all'uso di Instagram, trasformando una fotografia digitale in una vera e propria opera fisica.

La connessione in rete dei display fisici può permettere anche l'accesso a dati remoti, provenienti sia dal mondo fisico sia da quello virtuale. Un esempio riportato in precedenza è *Traverse*, di BREAKFAST New York, display fisico che riporta i movimenti delle persone in una giornata di New York, registrandoli con un sensore posto nella lobby di One Penn Plaza.

La destinazione dei display fisici è divisa, come si può evincere dai casi studio riportati, tra display pubblici (visualizzazione di dati real-time, opere d'arte, di design, installazioni museali), e strumenti di collaborazione o ricerca.

Riguardo i display pubblici, diverse ricerche hanno scoperto che gli utenti reagiscono in modo differente nei confronti dei sistemi interattivi in base alla loro distanza dallo schermo.

- Fase di display ambientale: i possibili utenti passano davanti al display da una certa distanza e non interagiscono. In questa fase le informazioni devono essere assimilate con uno sguardo veloce.
- Fase di interazione implicita: l'utente è più vicino e con il corpo rivolto verso il display. Il sistema deve incoraggiare l'utente ad avvicinarsi per scoprire di più.
- Fase di interazione discreta: l'utente si avvicina verso il display. Il sistema deve espandere le informazioni visualizzate in precedenza, mostrando i dettagli. In questa posizione, l'interazione con utenti multipli è ancora possibile.
- Fase di interazione personale: l'utente si avvicina maggiormente fino a poter toccare il display o il controller collegato con le mani. Il sistema dovrebbe mostrare tutti i dettagli e permettere all'utente la completa esplorazione delle informazioni.

Y. Jansen et al. hanno individuato cinque possibili requisiti per l'esplorazione visiva dei WSD (*Wall-Sized Displays*), che si ritengono applicabili anche ai display fisici.

- Poca attenzione visiva: gli strumenti fisici devono richiedere la minor attenzione visiva possibile;
- Poco ingombro visivo: il fulcro dell'esplorazione è l'informazione visualizzata; quindi, la parte logica di uno strumento non dovrebbe richiedere feedback visivo sul display, ma essere integrato come feedback nel dispositivo stesso;

- Mobilità: i dispositivi di controllo dovrebbero consentire la locomozione nel caso di display di grandi dimensioni (e alte risoluzioni).
- Specificità dei task: l'adeguatezza di uno strumento dipende dal compito che deve svolgere, e i gradi di libertà disponibili dovrebbero corrispondere con quelli del sistema;
- Genericità e versatilità: esistono molte applicazioni di esplorazione visiva a seconda del dominio e per motivi pratici è necessario accedere a un'ampia gamma di applicazioni con la stessa tecnologia e gli stessi stili di interazione.

3.4.1. Fenomeni di *blindness*

I designer di display pubblici si trovano spesso ad occuparsi della gestione di fenomeni di *blindness* da parte dei possibili utenti. I grandi display informativi si presume spesso che siano intrinsecamente accattivanti ed attraenti per le persone che si trovano nelle vicinanze, ma in realtà l'attenzione verso i grandi schermi è complessa e dipende da molti fattori. In questi casi si parla di *display blindness* (in alto in figura). In altri casi invece a non rendersi chiare ed immediate sono le modalità di interazione con i sistemi interattivi dei display, o più in generale la possibilità di interazione. In questi casi si parla di *interaction blindness* (in basso in figura).

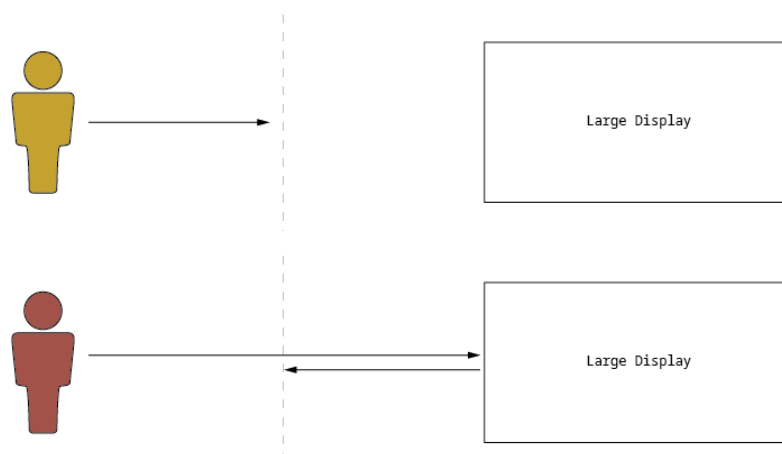


Figura 29. Schema esplicativo dei fenomeni di blindness

Huang et al. hanno dimostrato che la maggior parte dei display pubblici viene ignorata da molti utenti o riceve solo pochi sguardi (Huang, Koster e Borchers 2008). Dai loro studi hanno potuto riscontrare che il formato dei contenuti giocava un ruolo importante nell'attenzione delle persone. In generale, le persone hanno trovato i video più attraenti del testo, del testo animato o delle immagini fisse. Questa constatazione porta alla conclusione che uno schermo dinamico possa attirare l'attenzione più di uno statico. I display fisici, utilizzando oggetti in movimento per essere in grado di mostrare forme, scritte, informazioni, posseggono una dinamicità intrinseca, in grado di catturare maggiormente l'attenzione.

Nel caso di molti display fisici, inoltre, entra in gioco anche l'aspetto sonoro, spesso ridotto o eliminato (per necessità) nel caso di display tradizionali, specialmente in ambienti pubblici. La componente sonora in questo caso però non è da intendersi come accompagnamento musicale o *voiceover*, ma come effetto del movimento meccanico dei dispositivi utilizzati per comporre il display. L'attivazione di un senso in più, rispetto al solo senso della vista, stimola ulteriormente l'osservatore che potrebbe essere portato all'avvicinamento allo schermo.

Prendendo come esempio gli specchi meccanici di Daniel Rozin è possibile vedere come diversi elementi fisici (l'autore ha utilizzato dischi, mattonelle in legno, lancette in plastica, ma anche rifiuti, giocattoli, *pon pon*) possano essere messi in movimento e da questo ricavarne la dinamicità necessaria a generare attrazione verso il display e il suo contenuto.

Diversi sono stati gli approcci studiati in letteratura per risolvere l'*interaction blindness*. Primo tra questi è sicuramente un invito esplicito all'interazione (ad esempio, "tocca per iniziare"), che potrebbe tuttavia soffrire di alcuni svantaggi, tra cui avere la necessità di mostrare informazioni aggiuntive sul display che in alcuni scenari può non essere possibile. Altre soluzioni che si possono adottare sono l'utilizzo di dispositivi portatili o di sistemi *context-aware*, in grado di rilevare la posizione dell'utente, l'attivazione dello sguardo o del movimento.

S. Houben e C. Weichel hanno esplorato l'uso di oggetti in grado di generare curiosità (*curiosity objects*) per superare l'*interaction blindness*. Il loro studio ha confermato che l'introduzione di un *curiosity object* comporta un aumento significativo dell'interattività con il display (Houben e Weichel, Overcoming interaction blindness through curiosity objects 2013). La curiosità è infatti uno dei fattori principali che guidano il comportamento umano ed è stimolata da diversi fattori esterni, che possono essere ad esempio la novità, la complessità, la sorpresa.

Berlyne ha definito due dimensioni della curiosità: la *curiosità sensoriale*, scaturita ad esempio da nuove sensazioni e nuovi stimoli, e la *curiosità cognitiva*, il desiderio di aumentare le proprie conoscenze (Berlyne 2014).

Nel caso dei display fisici, è il display stesso ad agire da *curiosity object*, andando a stimolare la curiosità sensoriale. L'uso di una tecnologia ancora scarsamente diffusa porta gli osservatori ad avvicinarsi al display, guidati dalla novità e incertezza della particolare situazione. In seguito, inizia la fase di esplorazione e scoperta in cui gli utenti cercheranno l'interazione con il display per l'esplorazione dei contenuti e la scoperta del significato che si cerca di trasmettere. In questo caso sarà importante che le aree in cui è resa possibile l'interazione con il display siano uguali alle aree in cui l'osservatore verrà portato spinto dalla curiosità, in modo da avviare il sistema interattivo e trattenere l'utente.

Nel caso visto in precedenza degli specchi di Daniel Rozin, il contenuto del display è una riproduzione della visione di una videocamera che riprende lo spettatore. In questo caso l'autore afferma che quando una persona si ferma di fronte ad una delle sue opere, "capisce immediatamente l'interfaccia, non c'è una curva di apprendimento, non si chiede quale sia il contenuto dell'opera, perché il contenuto è la persona stessa" (Rozin, This Artist Makes Kinetic 'Mirrors' That Echo Your Movements 2019).

3.4.2. Interfacce fisiche tradizionali

Le interfacce fisiche tradizionali, costituite da pulsanti, interruttori, cursori, manopole, hanno un uso relativamente limitato per quanto riguarda i *public display*, ma possono essere ampiamente sfruttate in situazioni con un

pubblico di utenti più ristretto (o limitato ad un singolo). Questo tipo di interazione inizia nel momento in cui l'utente si trova all'ultima fase citata in precedenza, relativa all'interazione personale.

L'esperienza fisica, tattile, ha una grande influenza sul nostro coinvolgimento ed attaccamento verso un determinato prodotto, fin da quando si nasce. D'altro canto, basti al grande numero di prodotti che sono ricordati per i loro componenti di controllo fisici, come ad esempio la *click-wheel* dei primi iPod, o, andando più indietro nel tempo, il mouse del computer, o il disco combinatore dei telefoni fissi, la tastiera QWERTY.

I bottoni fisici, gli interruttori, le manopole, spesso non si limitano alla funzione di dispositivi di input, ma la loro posizione esprime anche lo stato della funzione che controllano. Ad esempio, un interruttore avrà normalmente due posizioni, una che significa "acceso", una che significa "spento", e l'utente si aspetta che lo stato del sistema sia coerente con la posizione del controllo fisico. Inoltre, i controlli di tipo fisico in contesti in cui la precisione o la velocità di risposta deve essere alta, sono generalmente preferibili rispetto ad altre tipologie.

I controlli di tipo fisico possono essere posizionati in luoghi fissi ad una certa distanza dai display, come per esempio le console da missaggio negli studi di registrazione, sulla struttura stessa del display, come i vecchi televisori, oppure possono essere trasportati nello spazio da parte degli utenti, come ad esempio i telecomandi. A differenza delle interfacce touchscreen, i controlli fisici forniscono un *feedback* di tipo tattile molto più ricco e di conseguenza possono essere più semplici da utilizzare senza la necessità di guardarli. Tuttavia, però, un singolo controllo fisico non ha la stessa versatilità fornita da uno schermo touchscreen ed è difficile che possa modificare il suo scopo altrettanto facilmente.

Un interessante ambito di riflessione sulle interfacce fisiche tradizionali è il fatto che non sia possibile nascondere o mostrare alcuni comandi in base al contesto d'uso, come invece è possibile fare con interfacce digitali. Ad esempio, sul telecomando di un televisore, tutti i pulsanti saranno sempre presenti, anche se alcuni probabilmente non verranno quasi mai utilizzati, ed aumentano così il carico cognitivo per l'utente. Quando tutti i comandi sono

visibili, inoltre, entrano in gioco alcune leggi della psicologia della *user interface*, che regolano, ad esempio, quali pulsanti vengono visti prima di altri. La forma dei controller e le scelte prese per la disposizione gerarchica dei comandi contribuiranno entrambi a come l'utente legge e interagisce. Nella disposizione dei controlli si applicano quindi i principi della Gestalt, lavorando su posizionamento, raggruppamento, colori e dimensioni.

Altro aspetto che si ritiene essere importante citare è la presenza di vincoli legati alla realizzazione fisica dell'hardware che conterrà i controlli. Spesso, infatti, la dimensione o le caratteristiche tecniche di un controller sono soggette a limitazioni dovute al costo o semplicità di produzione, oppure alla possibilità di riutilizzo dello stesso hardware per prodotti differenti.

Infine, è doveroso citare l'importanza dell'estetica anche nei sistemi di controllo, fattore che potrebbe influenzare l'usabilità, e viceversa.

3.4.3. Manipolazione diretta: gli *shape display*

La manipolazione diretta si distingue dalle interfacce fisiche tradizionali poiché l'utente è in grado di interagire con il sistema attraverso l'ambiente. Le TUI (*tangible user interface*) forniscono una forma fisica alle informazioni digitali e sfruttano le abilità degli utenti di manipolare gli oggetti fisici per rendere l'interazione più naturale e coinvolgente.

A differenza delle interfacce fisiche tradizionali, le TUIs sono spesso riconfigurabili nello spazio e a volte anche sufficientemente generiche per essere utilizzate in svariati ambiti di applicazione. La manipolazione diretta delle *tangible interfaces* può essere anche unita ad interfacce fisiche o schermi touchscreen per rendere l'interazione più completa. Poiché gli utenti hanno una familiarità intuitiva con gli oggetti di uso quotidiano, queste interfacce sfruttano i loro attributi fisici offrendo uno stretto legame tra oggetti reali e oggetti digitali. Un oggetto tangibile ha la capacità di dimostrare un *embodied cognition*, che rende più semplice la comprensione del funzionamento della tecnologia in esso incapsulata.

Le tipologie di TUIs sono numerosissime, una di queste può essere anche considerato il mouse collegato al PC, composto dai pulsanti e da una rotella

che invita l'utente a metterla in movimento per scorrere le pagine. Tuttavia, di seguito si è voluto approfondire una specifica tipologia di *tangible user interface*, che unisce le caratteristiche appena riportate con la visualizzazione delle informazioni.

Uno dei pionieri delle interfacce tangibili è Hiroshi Ishii, professore del Massachusetts Institute of Technology e direttore del *Tangible Media Group*, citato nella presentazione del caso studio di inForm. La sua idea è quella di permettere una manipolazione diretta e percettibile delle informazioni, grazie all'ideazione degli *shape display*.

Gli *shape display* sono dispositivi che agiscono sia da input sia da output, modificando dinamicamente la loro forma e geometria, dando la possibilità a diversi utenti di fare esperienza delle informazioni attraverso il tocco e la deformazione della loro topologia superficiale

La particolarità di questo tipo di dispositivi è la possibilità di reagire agli input dell'utente o aggiornare continuamente le loro proprietà in base a una simulazione sottostante. Diversamente da altri display fisici, infatti, gli *shape display* permettono il contatto fisico diretto con il sistema, dando così la possibilità all'utente di interagire toccando le forme create e anche di deformarle, senza l'ausilio di ulteriori strumenti.

Visualizzare nella realtà la forma degli oggetti fornisce diverse *affordance*, sia percettive, che implicano la comprensione dell'utente di ciò che la forma rappresenta, sia reali, che indicano la possibilità di toccare e manipolare la forma.

Gli *shape displays*, devono fornire tre tipi di funzionalità per la creazione di interfacce utente dinamiche: agevolare (*facilitate*) attraverso *affordance* dinamiche, limitare (*restrict*) attraverso vincoli dinamici e manipolare (*manipulate*) oggetti passivi attraverso la modifica delle forme (Leithinger, et al. 2015).

Le *affordance* dinamiche si comportano sia da *affordance* percepite sia reali, poiché allo stesso tempo sono rappresentate visivamente e forniscono un supporto meccanico per l'interazione (Leithinger, et al. 2015). Negli *shape*

display, questo tipo di affordance sono elementi che l'utente può toccare e che a loro volta reagiscono al tocco. In un *display* come *inForm*, si possono trovare bottoni, binari, superfici, maniglie. Inoltre, le singole affordance hanno la capacità di modificarsi a seconda del contesto, facendo ad esempio comparire nuovi pulsanti, spostando degli elementi di controllo più vicino all'utente, oppure cambiare in forma e dimensione.

I vincoli dinamici invece hanno il ruolo di limitare le possibilità fornite all'utente, rendendo impossibili alcune interazioni. Attraverso questi vincoli è possibile guidare l'utente nell'esecuzione di alcune azioni e mediare l'interazione attraverso strumenti o oggetti tangibili. Quando si posiziona un oggetto su uno *shape display*, interagisce con esso e con le forme da esso generate. Vincoli come pozzi, fessure, rampe, possono limitare il movimento degli oggetti, guidando così l'interazione dell'utente.

Infine, gli *shape display* possono anche appropriarsi di oggetti passivi, manipolandoli in modo da creare vincoli o possibilità di movimento. In questo modo gli oggetti passivi possono essere dotati di capacità dinamiche espandendo il loro possibile utilizzo come strumenti tangibili che rappresentano lo stato del sistema o altre funzionalità. Gli attuatori degli *shape display* hanno la capacità di applicare forza meccanica agli oggetti e quindi farli muovere. Questo amplia notevolmente le opportunità di interazione e permette di mantenere lo stato degli oggetti passivi sincronizzato con quello digitale del sistema. L'utilizzo degli attuatori meccanici può essere ad esempio rivolto a orientare un oggetto verso l'utente, sollevare un oggetto per permetterne una migliore visibilità, oppure spostare un oggetto nelle vicinanze di un utente.

3.4.4. Interfacce *touchless*

Negli ultimi anni, molti studiosi e designer hanno investigato l'uso di interazioni gestuali e *touchless* come nuovo strumento per comunicare con i sistemi interattivi.

Secondo la definizione di de la Barré et al., l'interazione è detta *touchless* solo se può avvenire senza il contatto meccanico tra l'uomo e qualsiasi parte del sistema artificiale (de la Barré, et al. 2009). Non rientrano quindi in questa

categoria di interazioni tutti i sistemi che comprendono un tracker fisico collegato in modo fisico all'utente. Ad esempio, non potranno essere classificate come interfacce *touchless* i controller della Nintendo Wiimote oppure i Playstation Move di Sony. Al contrario, possono essere ritenute interfacce *touchless* i dispositivi Kinect o simili, i tracciatori quali Leap Motion, gli *eye tracker*, le camere tradizionali e quelle di profondità (con l'aggiunta della dimensione *depth* che indichi quanto un oggetto è lontano).

Le interazioni *touchless* con gli schermi fisici possono essere multimodali, caso in cui il comportamento interattivo produce eventi simultanei nella modalità visiva, uditiva e olfattiva. Nella trattazione che segue ci si concentrerà esclusivamente su quella visiva, prendendo in esame in modo particolare i cambiamenti di posizione.

Recentemente l'interazione *touchless* è diventata una delle principali modalità di interazione con display pubblici. I vantaggi di questa modalità sono molteplici, primo tra tutti la possibilità di interagire con display posti in luoghi non accessibili, o di dimensioni non adatte all'interazione di tipo *touchscreen*, sia per motivi tecnologici sia di design. Ad esempio, è così possibile agire su schermi di dimensioni molto grandi, come le *media facade*, display integrati nelle strutture architettoniche.

Negli ultimi due anni, inoltre, l'emergenza sanitaria causata dalla diffusione del virus SARS-CoV-2 ha portato alla preferenza di interfacce che non entrassero in contatto con l'utente, in modo da garantire più sicurezza nell'uso, soprattutto per quanto riguarda installazioni pubbliche. La pandemia di Covid-19 ha aumentato la necessità di ricercare alternative alle pratiche che potrebbero diffondere il virus. La forte trasmissibilità del virus per contatto ha fatto sì che la disinfezione degli ambienti, delle mani e delle superfici diventassero operazioni da ripetere quotidianamente. Le interfacce pubbliche (tra le più comuni, i POS dei punti vendita), si sono rivelate essere tra i punti più pericolosi e di conseguenza la ricerca verso delle tecnologie che non prevedono il tocco si è resa ancora più necessaria.

Barré et. al hanno raccolto le ragioni che possono portare alla scelta di interazioni *free-form*, rispetto a quelle tradizionali. Le condizioni sotto le quali

questo tipo di interazioni sembrano essere migliori di quelle touch-based includono:

- Ambienti sterili, dove le superfici hanno necessità di essere rese aseptiche dopo l'uso. Ad esempio, gli schermi tattili nelle sale operatorie per controllare dispositivi medici che vengono spesso coperti di pellicole trasparenti che vengono sostituite dopo ogni uso.
- Ambienti a rischio di vandalismo, in cui è necessario coprire o separare i sensori dall'area in cui si trovano gli utenti. Questo caso d'uso è uno dei più interessanti per quanto riguarda gli schermi fisici, spesso fragili e destinati ad un ampio pubblico.
- Uso condiviso da gruppi di persone, che necessitano degli schermi molto grandi (WSD, *wall-sized-displays*), che devono essere collocati ad una maggiore distanza
- Posizionamento e spostamento di oggetti in tre dimensioni. Se il sistema interattivo necessita un tracciamento tridimensionale di persone o oggetti, sarà più facile e conveniente utilizzare un'interfaccia touchless e algoritmi di computer-vision.
- Casi di utilizzo fugace, cioè quando il tempo per cercare, afferrare e comprendere i dispositivi è ridotto e di conseguenza meno invitante per possibili utenti pubblici.

Tra le possibili interfacce touchless che percepiscono il comportamento degli utenti si possono trovare il riconoscimento vocale, la *gesture recognition*, l'*eye tracking*, e la *pose estimation*. Tra le possibilità elencate, le metodologie più adatte all'uso con display fisici sono la *gesture recognition* e la *pose estimation*, chiamata anche *avatar-based interaction*, principalmente a causa della distanza tra l'utente e lo schermo al momento dell'utilizzo e l'uso all'interno di spazi pubblici in cui il riconoscimento vocale potrebbe essere difficoltoso.

3.4.4.1. *Human pose estimation*

Le tecniche di *human pose estimation* permettono di identificare e classificare le articolazioni del corpo umano (chiamate *keypoints*), in modo da unirle (attraverso delle connessioni chiamate *pair*) ed ottenere una rappresentazione del corpo simile a quella di uno scheletro, per poi utilizzarla ulteriormente in compiti specifici dell'applicazione.

Le modalità con cui il corpo umano viene "scansionato" sono principalmente tre:

- modelli *skeleton-based*, chiamati anche cinematici, i quali contengono i set di *keypoints* e sono utilizzati principalmente per la *pose estimation* in due e tre dimensioni;
- modelli *contour-based*, chiamati anche planari, sono utilizzati per la *pose estimation* in due dimensioni e consistono nell'individuazione del contorno del corpo, mettendo in mostra la forma del corpo;
- modelli *volume-based*, chiamati anche volumetrici, utilizzati per la *pose estimation* in tre dimensioni e consistono nella creazione tridimensionale di un modello umano, generalmente generato attraverso algoritmi di *deep-learning*.

I dati in ingresso per gli algoritmi non si limitano a matrici RGB, ma possono utilizzare anche (o, in alcuni casi, esclusivamente) i dati di profondità forniti dai sensori per migliorare il calcolo o posizionare con precisione il corpo nello spazio tridimensionale.

La stima della posizione delle articolazioni è spesso complessa e richiede una potenza di calcolo notevole, in modo particolare quando si parla di sequenze video. Tra le sfide principali si trova il *motion blur*, che non permette un'analisi nitida dei frame, l'occlusione creata dal corpo stesso o da altri oggetti, e l'incapacità di molti algoritmi di catturare le dipendenze temporali tra i frame successivi.

Normalmente, un algoritmo di *pose estimation* è suddiviso in due step: nel primo vengono identificate delle *bounding box* all'interno delle quali si trova la

persona, nel secondo viene valutata la posizione in ognuna delle *box* individuate in precedenza.

Con il rapido sviluppo delle soluzioni di deep learning negli ultimi anni, è stato dimostrato che queste superano i metodi classici di computer vision in vari compiti, tra cui la segmentazione delle immagini o il rilevamento degli oggetti. Pertanto, le tecniche di deep learning hanno portato significativi progressi e incrementi di prestazioni nelle attività di *pose estimation*.

Tra le librerie più popolari di *pose estimation* si possono citare:

- OpenPose, libreria open-source in grado di rilevare con alta precisione i *keypoint* di viso, corpo, mani e piedi in real-time. Questa libreria supporta diverse architetture, come ad esempio le GPU CUDA, OpenCL, o solo CPU.
- HRNet, *High Resolution Net*, è una rete neurale per la *human pose estimation*, utilizzata nei problemi di image processing per trovare i *keypoints* ad alte risoluzioni. Trova grande impiego, ad esempio, nella rilevazione delle posizioni dei giocatori negli sport.
- DeepCut, usata per rilevare la posizione di un alto numero di persone, e può essere utilizzata per immagini o video anche real-time
- MoveNet, un'architettura di *pose estimation* sviluppata su Tensorflow.js in modo da permetterne l'uso su dispositivi "leggeri", come ad esempio i browser o gli smartphone, disponibili in due versioni, Lighting e Thunder, la prima indicata per applicazioni in cui si predilige la bassa latenza alla precisione, la seconda per applicazioni in cui si richiede un'alta fedeltà nel tracciamento.

Una delle problematiche maggiori riscontrabili con l'uso di interazioni *avatar-based* per la visualizzazione delle informazioni è la navigazione delle schermate. Non essendo presente il tocco, il "click" al quale siamo tutti oggi abituati, le modalità di interazioni prendono forme diverse e alcune tra le metafore alle quali siamo più abituati non trovano spazio. Gli utenti sono portati a imparare le nuove modalità di interazione che tuttavia basandosi sul movimento naturale del corpo, sono più veloci e semplici da acquisire. Anche

se un sistema interattivo *touchless* non funziona in modo più facile, più veloce, più a prova di errore, rispetto a una controparte basata sul tocco, gli utenti possono comunque apprezzarlo di più e provare più divertimento con esso.

Nei casi studio di display fisici riportati, si possono ritrovare tecniche di *pose estimation* sia nei lavori dello studio Breakfast New York, sia negli specchi meccanici di Daniel Rozin.

3.4.5. Display fisici connessi

La connessione in rete dei display fisici apre alla progettazione una vasta gamma di nuove possibilità. Tra i progetti citati nel corso del terzo capitolo che fanno uso della connessione dei display alla rete per lo scaricamento di informazioni, si possono trovare le opere di Breakfast New York, Forever 21 Thread Screen e Traverse. Come afferma Gunneras, co-founder dello studio, tra gli obiettivi dei loro progetti si trovano quelli di “connettere gli spettatori a luoghi lontani” e “connettere persone ad altre persone”, attraverso la connessione di mondo fisico e mondo virtuale raggiunta grazie all’impiego di display fisici.

L’utilizzo della connessione in rete è di fondamentale importanza anche per quanto riguarda la telepresenza studiata nei laboratori del Massachusetts Institute of Technology, con lo scopo di trasmettere forme in tempo reale e colmare la necessità di fisicità che attualmente manca nelle telecomunicazioni

Questa connessione tra mondo fisico e mondo virtuale si può ritrovare anche nell’uso di sensori ambientali come sorgente delle informazioni visualizzate sui display fisici. Con l’affermarsi dell’*Internet of Things*, sempre più flussi di dati possono essere generati da dispositivi distribuiti nell’ambiente ma ciò che manca è una efficace visualizzazione dei dati raccolti. Tra i dati che possono essere raccolti si possono citare ad esempio i consumi e produzioni di elettricità, acqua, qualità dell’aria, temperatura, umidità, numero di persone in una determinata area, luminosità esterna e così via.

L’approccio attualmente più comune all’osservazione dei set di dati è la creazione di *dashboard*, applicazioni o siti web dedicati su dispositivi digitali

personali come smartphone e tablet oppure grandi schermi pubblici (spesso creati dagli stessi produttori dei sensori). Questo metodo può rivelarsi un fattore limitante quando si tratta di interagire profondamente con i dati e con la capacità degli utenti di prendere decisioni in base al feedback ottenuto. In ambiente privato, questo approccio richiede che gli utenti installino un'applicazione o aprano uno specifico sito web, non di rado incontrando difficoltà causate anche da poche competenze tecniche nella corretta interpretazione dei dati. In ambiente pubblico invece i display che mettono alla luce questo tipo di dati sono spesso soggetti a *display blindness*, e vengono osservati solo da pochi utenti con sguardi veloci. Di conseguenza, i set di dati sugli aspetti ambientali rimangono spesso sconosciuti.

Considerata la vicinanza sia dei sensori sia dei display fisici all'ambiente e al mondo reale, si ritiene l'utilizzo di questi display una possibile soluzione comunicativa efficace dei dati ambientali. È evidente che gli ambienti urbani del futuro saranno saturi di display digitali ed a causa di questo si rafforza l'idea che l'utilizzo di elementi fisici per la rappresentazione di variabili anch'esse provenienti dal mondo fisico sia una delle soluzioni migliori per rendere i dati visibili in modo efficace.

Questo tipo di utilizzo dei display si inserisce nel contesto dell'architettura dei media (*media architecture*), che svolge un ruolo di primo piano nel definire l'integrazione e l'uso dei media digitali negli ambienti urbani, dando peso maggiore ad aspetti estetici sociali rispetto a quelli tecnologici. Quando si progettano display per la visualizzazione di insiemi di dati IoT è infatti importante progettare con attenzione i contenuti giusti, l'aspetto fisico e l'integrazione della tecnologia di visualizzazione con gli aspetti sociali, per non ricadere negli stessi errori dei grandi display pubblicitari, piatti, rettangolari, spesso osservati da una grande minoranza dei potenziali spettatori.

È stato studiato (Hoggenmueller, et al. 2018) come il carattere low-tech di un display e la conseguente limitata capacità informativa sono un aspetto importante per l'accettazione della presenza di uno schermo nell'ambiente. Questa tipologia di display fornisce un maggiore senso di privacy, rende la lettura dei dati più interessante e si amalgama meglio in un contesto

architettonico o naturale, grazie alla bassa risoluzione e alle proprietà meccaniche.

I display fisici possono trovare impiego anche come sistemi di comunicazione interna in ambienti lavorativi (Resn 2019). La versatilità, unita alla curiosità che suscitano negli spettatori, rendono i display fisici dei perfetti strumenti di comunicazione in grado di unire alla funzionalità, elementi di design e di divertimento.

4. La tecnologia di un display

flip-dot

Una delle grandi sfide della visualizzazione fisica è tradurre le informazioni digitali in controparti fisiche in modo convincente e comprensibile. Diversamente dalla visualizzazione virtuale, quella fisica, grazie alla maggiore “vicinanza” alle attività umane, ha la qualità di fornire alle persone esperienze piacevoli, più legate al contesto, che potrebbero motivare ed incoraggiare.

Nei due capitoli seguenti si discuteranno diverse tecniche di interazione e visualizzazione applicate al caso studio di un display fisico *flip-dot*, tra cui l’implementazione di controlli tangibili e interfacce avatar-based.

Un display *flip-dot*, o *flip-disc*, è una tipologia di schermo a matrice di punti che utilizza al posto dei pixel dei dischi magnetici con le facce di colore diverso una dall’altra (solitamente nera da un lato e di un colore chiaro o riflettente dall’altro). Attraverso dei segnali elettrici è possibile far capovolgere (*flip*) i dischi rapidamente, passando da un colore all’altro, “accendendo” o “spegnendo” i pixel di uno schermo bianco e nero.

I display *flip-disc* sono stati utilizzati per moltissimi anni per insegne di grandi dimensioni, cartelli di destinazione negli autobus, cartelli a messaggio variabile sulle autostrade, tutte occasioni in cui c’era la possibilità che la luce solare diretta potesse rendere impossibile la lettura di uno schermo luminoso. Questa tecnologia è stata anche utilizzata in teatri, spettacoli, giochi televisivi, grazie alla sua versatilità e praticità.

4.1. Nuova vita per i display *flip-dot*

L’originale tecnologia *flip-disc* fu inventata negli anni Sessanta da Kenyon Taylor, all’epoca responsabile della ricerca presso la Ferranti-Packard⁴³,

⁴³ La Ferranti-Packard Ltd. era la divisione canadese di Ferranti International plc, un’azienda britannica di ingegneria e apparecchiature elettriche che ha operato dal 1885 al 1993, nota per il suo lavoro nel settore di reti elettriche e dell’elettronica per la difesa.

azienda elettrica e tecnologica canadese. L'invenzione del primo schermo *flip-disc* è raccontata da Norman R. Ball e John N. Vardalas nel libro *Ferranti-Packard: Pioneers in Canadian Electrical Manufacturing* (Ball e Vardalas, Ferranti-Packard: Pioneers in Canadian Electrical Manufacturing 1994).

Nel 1961 la Trans-Canada Airlines chiese all'azienda un modo pratico per visualizzare le informazioni sugli arrivi e le partenze negli aeroporti e la sfida fu accolta dal dipartimento di ricerca del quale Taylor era responsabile. Taylor propose l'idea di mostrare qualsiasi carattere, lettera o numero attraverso una serie di dischi sottili di metallo con due facce colorate diversamente, una nera e una bianca. Il progetto originale utilizzava un filo di nylon per calze per sospendere ogni disco metallico e fungere da perno per la rotazione. Un piccolo magnete era fissato al retro di ogni disco in modo che potessero passare da "acceso" a "spento" grazie alla variazione dei campi elettromagnetici. I dischi si sarebbero poi combinati per formare lettere, numeri e tutte le forme necessarie. Questo tipo di sistema consumava una quantità di energia molto minore rispetto alle fonti di luce di quegli anni e soprattutto era facilmente leggibile in ambienti con molta luce. Ogni disco era controllato da un circuito speciale di processamento dei dati inviati.

Il brevetto è stato presentato nel 1961 e pubblicato il 14 luglio del 1964, con titolo "*Magnetically operated sign*", inventore Maurice Kenyon Taylor (Taylor 1964). I documenti di brevetto contengono otto figure attraverso le quali è possibile capire l'esatto funzionamento della tecnologia originale.

Nella descrizione che accompagna le figure si legge che l'invenzione ha come oggetto "fornire una tipologia di insegna che eviti in modo specifico l'uso di lampadine e i problemi ad esse associati, dal funzionamento certo e generalmente privo di difetti di esecuzione e che non richieda una manutenzione costante". Viene inoltre precisato che "le facce a contrasto selezionate vengono visualizzate in modo che una linea continua di facce di colore simile possa essere posta in mezzo a facce di colore contrastante per creare un segno o simili nel pannello di visualizzazione". L'invenzione viene in seguito descritta nei minimi dettagli, presentando due tipologie diverse di montaggio dei dischetti rotanti.

July 14, 1964

M. K. TAYLOR

3,140,553

MAGNETICALLY OPERATED SIGN

Filed Aug. 21, 1961

3 Sheets-Sheet 1

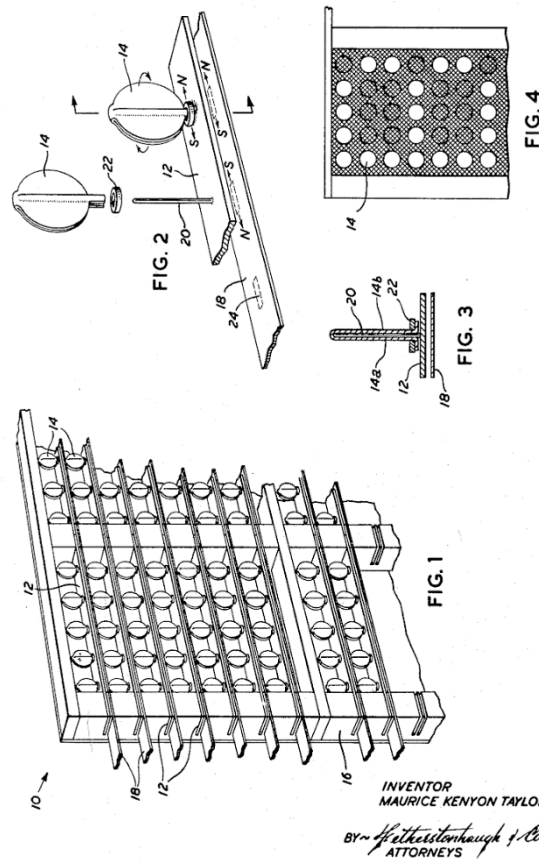


Figura 30. Pagina 1 del brevetto di M. K. Taylor, *Magnetically Operated Sign*

Nelle figure 1-4 si trova una prima versione, in cui ogni ripiano (12) porta una serie di montanti (20) a distanza regolare che sostengono l'elemento di scrittura rotante le cui facce sono unite da un anello magnetizzato (22). Sotto il ripiano si trova lo spazio per un nastro con all'interno delle aree magnetiche polarizzate (24), in grado di fare allineare ad esse gli anelli magnetici dei dischi e presentare una o l'altra delle facce contrastanti. Spostando il nastro con le aree magnetiche in una posizione prestabilita, è possibile creare un campo magnetico sotto ciascun elemento e visualizzare così i diversi pattern.

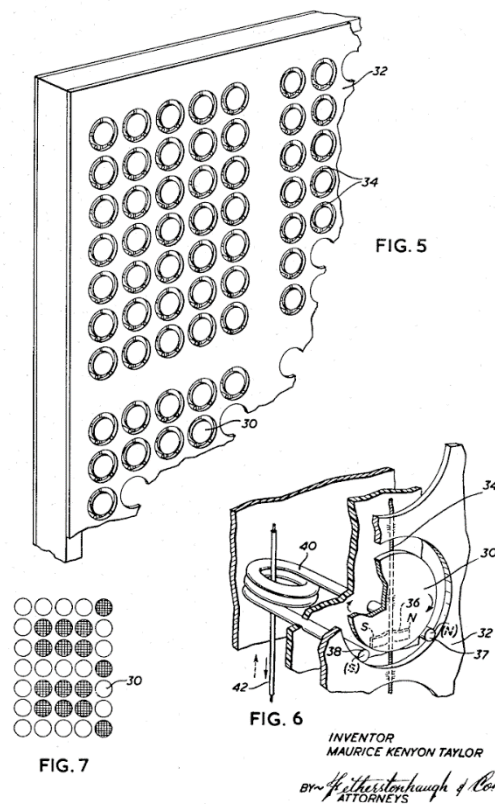


Figura 31. Pagina 2 del brevetto di M.K. Taylor, *Magnetically Operated Sign*

Nelle figure 5-8 invece gli elementi di scrittura (30) sono sospesi nelle aperture di un tabellone (32) da un sottile filamento che si estende diametralmente attraverso l'elemento, consentendone la libera rotazione. Su un lato del dischetto è fissato un magnete (36) e due poli (38) di un magnete permanente (40) si estendono nello spazio tra la tavola e il disco, in modo da non intralciare la rotazione. La polarità dei poli del magnete permanente (40) viene variata a piacimento per cambiare la direzione del campo magnetico e fare sì che il magnete fissato al dischetto (36) si allinei, presentando una o l'altra faccia. Con questo metodo, non è necessario mantenere la corrente nel filo (42) e il consumo di energia sarà molto basso.

July 14, 1964

M. K. TAYLOR

3,140,553

MAGNETICALLY OPERATED SIGN

Filed Aug. 21, 1961

3 Sheets-Sheet 3

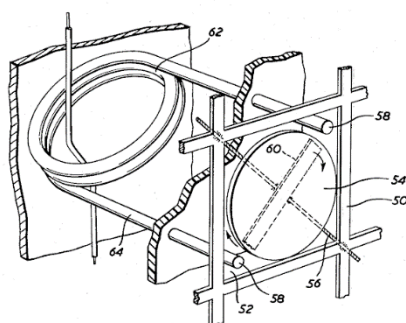


FIG. 8

INVENTOR
MAURICE KENYON TAYLOR

BY *Wetherstonhaugh & Co.*
ATTORNEYS

Figura 32. Pagina 3 del brevetto di M. K. Taylor, *Magnetically Operated Sign*

In figura 8 si trova una versione alternativa, dove la tavola è sostituita da un reticolo e il filamento di sospensione è posto in diagonale al fine di limitare la possibilità che la sua torsione (qui con estensione più lunga) interferisca sul corretto funzionamento del dispositivo; inoltre, la posizione dei poli del magnete (58) garantiscono una coppia maggiore.

Per diversi decenni, i display rimasero creazioni artigianali su misura ma questa semplice invenzione portò profitti considerevoli alla Ferranti-Packard, cambiando la direzione di mercato della divisione elettronica.

Nel 1962 venne installato il primo *trading-display* nella nuova sede della Montreal Stock Exchange⁴⁴. Alla richiesta di modernizzazione dei sistemi di visualizzazione dei dati di trading da parte della Borsa, sia Ferranti-Packard sia

⁴⁴ La Borsa di Montreal (*Montreal Stock Exchange*) è situata a Montreal, Quebec, Canada e nel 1965 si trasferì nell'odierna sede della Torre della Borsa, in Place Victoria, progetto architettonico e strutturale italiano di Luigi Moretti e Pier Luigi Nervi.

Westinghouse presentarono un'offerta per il progetto utilizzando una tecnologia elettro-luminescente. Ferranti si aggiudicò l'appalto dopo aver dimostrato l'utilizzo del loro brevetto con dei dischetti dipinti a mano. Il sistema completo ebbe un costo totale di 700'000 dollari (ad oggi, quasi 7 milioni⁴⁵) e subì diversi ritardi, ma una volta diventato pienamente operativo, venne considerato affidabile e installato nella sede della Montreal Exchange.

Nei documenti dell'Ontario Archives, è possibile trovare anche documenti che spiegano le modalità di lettura del nuovo schermo (Ball e Vardalas, Ferranti-Packard: Pioneers in Canadian Electrical Manufacturing 1994). In aggiunta alle facce nere e bianche per i dischetti, vennero aggiunti anche altri colori, tra cui il verde e il rosso, in modo da rendere più semplice la lettura delle informazioni sugli enormi schermi.

I sistemi erano molto costosi a causa della costruzione manuale di ogni modulo, che veniva cucito a mano, solitamente dalle donne della Ferranti-Packard, ed assemblato in grandi matrici. Una riorganizzazione generale del dipartimento e della manutenzione necessaria risolse i problemi e i prezzi iniziarono a scendere. Nel 1977, il sistema era stato venduto e veniva utilizzato da metà delle principali borse mondiali: Winnipeg, Toronto, New York, Minneapolis, Kansas City, New Orleans, Buenos Aires, Londra, Torino, Tokyo e Seul. Grazie anche al calo dei prezzi, il sistema fu presto impiegato in altre applicazioni, come per la segnaletica autostradale, tabelloni dei punteggi⁴⁶, sistemi di informazione per il trasporto pubblico.

Intorno a quegli anni, la Ferranti-Packard sviluppò anche un sistema modulare a sette segmenti che installò nell'American Stock Exchange di New York City. Cercando un'altra applicazione per questo componente, l'azienda cominciò ad avvicinarsi ai costruttori di pompe per la benzina, che stavano iniziando ad utilizzare l'elettronica nello sviluppo tecnologico. Poiché nessuno dei display

⁴⁵ Secondo il calcolo dell'inflazione effettuato attraverso l'uso dei dati dello U.S. Department of Labor dal sito officialdata.org

⁴⁶ Nel volume "Ferranti-Packard: Pioneers in Canadian Electrical Manufacturing" (Ball e Vardalas, Ferranti-Packard: Pioneers in Canadian Electrical Manufacturing 1994), p. 293, è possibile vedere una fotografia di Berry Hercuson raffigurante un display *flip-disc* utilizzato come tabellone segna-punteggi alla Funabashi Race Track in Giappone nel 1977.

elettronici dell'epoca poteva essere letto senza difficoltà alla luce del sole, Leo Koppens, presidente della Koppens Automatic, decise utilizzare i nuovi display a segmento della Ferretti-Packard per le sue nuove pompe per la Royal Dutch Shell. Dopo diversi anni di collaborazione tra le due aziende, nel 1976 venne messa sul mercato la prima pompa con la nuova tecnologia a schermi elettromagnetici, che prestò conquistò l'intera Europa.

Un'ulteriore occasione d'uso dei nuovi schermi fisici della Ferretti-Packard arrivò nel 1974, quando in un viaggio di lavoro, gli agenti commerciali scoprirono che l'azienda Luminator stava sviluppando dei display per i nuovi bus con destinazione variabile in modo da segnalare la destinazione della linea. Il problema anche per questi schermi era l'insufficiente luminosità in piena luce solare. Il gruppo di ricerca dell'azienda canadese si mise subito a progettare la costruzione di moduli con dischi più piccoli, che potessero essere utilizzati nella parte anteriore degli autobus e dei treni.

Alla fine degli anni Settanta, il fatturato di questi display aveva già superato quello delle altre linee di business aziendali e presto furono presenti nella maggior parte degli aeroporti, delle stazioni ferroviarie, degli stadi di atletica, tutti impegnati a fornire preziose informazioni alle masse di persone (Eldredge s.d.).

Man mano che i display a LED progredivano in termini di capacità e di affidabilità, venivano ordinati sempre meno flip-dot, poiché erano difficili da riparare, richiedevano manutenzione ed erano particolarmente rumorosi. Ben presto questa tecnologia fu sostituita da quella più nuova dei pannelli luminosi a diodi, più silenziosi, reattivi e che necessitano meno manutenzione. Gli schermi elettromagnetici lentamente sparirono da stazioni e stadi.

Tuttavia, negli ultimi dieci anni circa la tecnologia *flip-disc* ha trovato una nuova vita come mezzo artistico e di design. Tra i primi studi a riproporre questo tipo di schermi, si trova BREAKFAST, citato nel capitolo precedente, che nel 2012 iniziò lo sviluppo dei propri moduli *flip-disc* a 30fps, più reattivi e affidabili di quelli del secolo precedente, ma che condividevano il funzionamento.

Alcune aziende produttrici propongono anche una versione dei display *flip-disc* che usano insieme la tecnologia classica con quella LED, combinandone i vantaggi. Questo tipo di schermo possiede una matrice di dischi magnetici che da un lato sono neri e dall'altro possiedono una pellicola fluorescente o retroriflettente accompagnata da una fonte luminosa a LED che può modificare colore ed intensità. L'azienda BUSE⁴⁷, di Blansko in Repubblica Ceca, è stata la prima a proporre sul mercato gli schermi *flip DOT-LED* con tecnologia proprietaria che permette così di garantire una leggibilità ottimale del testo in tutte le condizioni di luce, ovviando al problema della visibilità degli schermi *flip-disc* in assenza di luce. Gli schermi della casa Ceca sono indicati per l'utilizzo su bus, filobus, tram e treni e garantiscono un consumo minore del 20% rispetto ai comuni schermi a LED.

Negli ultimi anni questa tipologia di schermi è diventata largamente utilizzata. BREAKFAST ha prodotto più di 20 modelli diversi di *Flip-Discs*, raggiungendo anche i 60 fps di frequenza di aggiornamento; tra le installazioni da record si può citare lo schermo di Real Art, che al CES 2015⁴⁸ ha presentato un display largo 9 metri e alto 2, con 74,088 dischi, in grado di analizzare le emozioni delle persone in tempo reale (Szczys 2015), mentre la Coca Cola nel 2017 ha installato nei suoi quartieri generali di Atlanta un display diviso in due sezioni, delle dimensioni totali di 35 metri di larghezza e 6 di altezza, per un totale di 55'860 dischi rossi e bianchi completamente fabbricati in PET riciclato⁴⁹.

⁴⁷ BUSE s.r.o., *Burda's special electronics*, si occupa dal 1992 dello sviluppo e della produzione di apparecchiature per la visualizzazione di informazioni principalmente dedicato al campo dei trasporti.

⁴⁸ Il [CES](#) (*International Consumer Electronics Show*) è una delle fiere di tecnologia ed elettronica di consumo più importanti a livello mondiale. Nel 2015 si è svolta a Las Vegas dal 6 al 9 gennaio.

⁴⁹ Tratto dal [sito di Eneflux-Armtek Magnetics](#), azienda che produce magneti permanenti che ha fornito i componenti per lo schermo di Coca Cola.



Figura 33. Flip-dot wall nei quartieri generale della Coca Cola Company

I display flip-dot hanno avuto diversi utilizzi che rientrano senza dubbio nella categoria dei display di natura non-interattivi, ovvero ai quali gli utenti non possono apportare modifiche in modo diretto, a differenza di display touchscreen o gli *shape display*. Gli schermi pubblici che informano le persone in stazione degli orari dei treni, ad esempio, vengono sì aggiornati in tempo reale con le informazioni riguardanti i binari o i minuti di ritardo, ma i viaggiatori non potranno mai “sfogliare” le pagine del tabellone ed esplorare gli orari dei treni futuri non mostrati. È da sottolineare come il livello di interattività sia completamente distaccato dalla distinzione tra display attivi e passivi. In display modificabile, il cambiamento può essere causato sia da un osservatore (in questo caso si tratterà di uno display interattivo), sia da “forze esterne” che non includono l'intervento dell'uomo (in questo caso lo schermo sarà quindi non-interattivo). Ad esempio, alcuni display informativi passivi possono avere delle parti mobili che l'utente può riorganizzare manualmente, creando così delle nuove visualizzazioni; al contrario invece, delle visualizzazioni di dati in tempo reale sono sicuramente attive ma possono non essere interattive, poiché ricevono dati da fonti esterne sulle quali un singolo osservatore non ha alcuna influenza.

4.2. Il funzionamento dei moduli

La tecnologia utilizzata ha origine da quella utilizzata per le unità di memoria magnetica, che permette l'uso, ad esempio, degli hard disk o delle videocassette: l'impulso elettrico magnetizza un nucleo elettromagnetico ad alta rimanenza e un dischetto (*disc* o *dot*) in grado di ruotare su sé stesso diventa un dispositivo di lettura. Le due facce dei dischi utilizzati sono colorate diversamente, in modo da poter distinguere due stati di "acceso" e "spento" e riuscire così a comporre forme e immagini.

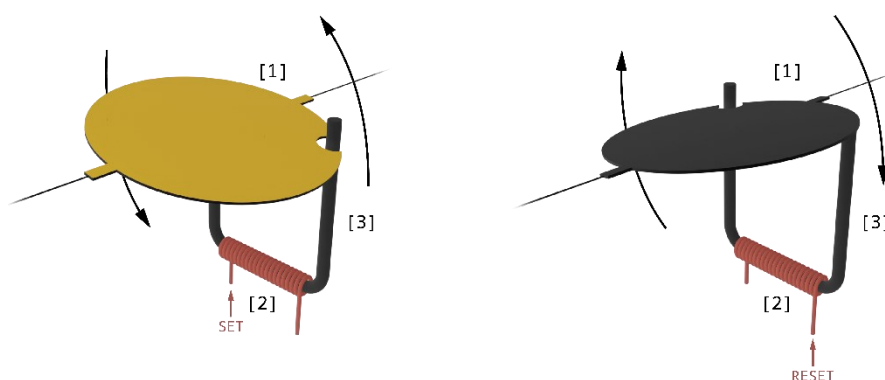


Figura 34. Schema di un modulo flip-dot in posizione accesa e spenta

Nello schema è possibile vedere il dischetto (in questo caso nero e giallo) [1], e la bobina [2] posiziona lungo il nucleo ferromagnetico [3]. Nel momento in cui un breve impulso di corrente attraversa la bobina, il nucleo metallico si magnetizza, con una polarità che dipende dalla direzione del flusso di corrente nella bobina stessa. Una volta terminato l'impulso, il nucleo mantiene la sua polarità fino a quando non viene applicato un nuovo impulso inverso. Il nucleo metallico è in grado di attrarre o respingere il magnete permanente (il dischetto), ribaltandolo e bloccandolo nella nuova posizione.

La bobina percorsa da una corrente genera al suo interno un campo magnetico uniforme (che ha la stessa intensità in tutti i punti dello spazio interni al solenoide) diretto come il suo asse, trascurabile invece all'esterno.

Il campo magnetico all'interno della bobina immersa nel vuoto sarà definito dall'espressione:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot i$$

dove μ_0 è la permeabilità magnetica nel vuoto ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$), N è il numero di avvolgimenti del solenoide, L è la lunghezza del solenoide e i l'intensità di corrente elettrica che attraversa il solenoide.

Se all'interno del solenoide è presente un materiale ferromagnetico con permeabilità magnetica relativa μ_r , il campo verrà amplificato di un fattore pari a μ_r . Nei materiali ferromagnetici, i valori di permeabilità magnetica relativa sono molto maggiori di 1.

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N}{L} \cdot i$$

Per determinare il verso ed individuare quindi correttamente il polo nord e il polo sud, si usa la regola della mano destra. Secondo gli schemi precedenti, dunque, se la corrente scorre nella bobina come nel caso del segnale di SET, il dischetto ruoterà mostrando la faccia colorata di giallo, mentre nel caso del segnale RESET, il dischetto mostrerà la faccia colorata di nero.

Una volta terminato l'impulso di corrente, e quindi anche il campo magnetico esterno, il materiale ferromagnetico attorno al quale è avvolta la bobina, continuerà a mantenere il proprio campo. I materiali ferromagnetici, infatti, seguono il ciclo di isteresi magnetica, processo che descrive la magnetizzazione di un materiale a fronte della sollecitazione di un campo magnetico esterno, man mano che l'intensità di quest'ultimo varia. La peculiarità di questo comportamento è che la magnetizzazione indotta è dovuta sia dalle condizioni istantanee del materiale sia dalle condizioni pregresse.

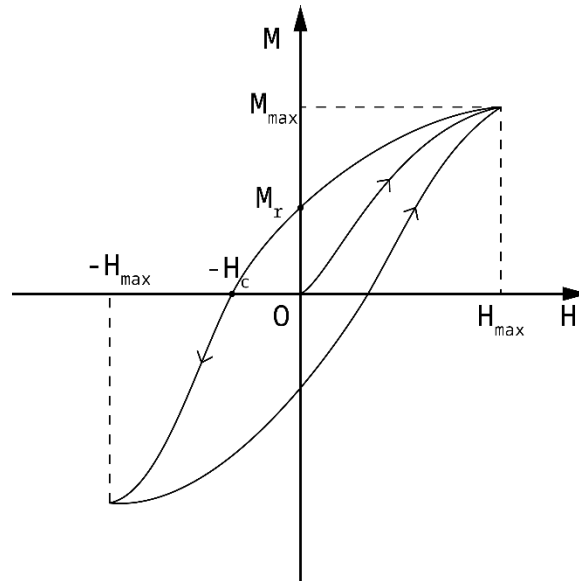


Figura 35. Grafico del ciclo di isteresi magnetica

Nel grafico è possibile osservare un esempio di ciclo di isteresi magnetica su un piano $O-H-M$, in cui H indica il modulo del campo magnetico esterno e M la magnetizzazione, e i segni si riferiscono all'orientazione dei campi, e non ai moduli, per definizione non negativi. In seguito ad una prima magnetizzazione in cui l'aumentare di H porta la magnetizzazione ad un livello di saturazione M_{max} , riducendo nuovamente il valore di H fino all'annullamento si può notare che l'andamento della magnetizzazione non compie il percorso precedente a ritroso. La magnetizzazione M , pur diminuendo, si attesta ad un valore M_r , maggiore di zero, anche quando il campo esterno è nullo ($H = 0$) e prende il nome di *magnetizzazione residua*. Il materiale è stato così magnetizzato, creando un magnete artificiale. Per annullare la magnetizzazione residua è necessario aumentare il campo esterno invertendo il segno, costringendo M a diminuire fino ad annullarsi in $-H_c$, valore che prende il nome di *campo di coercizione*. Diminuendo ancora il campo magnetico H è possibile portare nuovamente alla saturazione (nel verso opposto al precedente) il campo M , e seguire il fenomeno con gli stessi processi indicati. Da notare come non si torni più al punto iniziale 0 . L'unico modo per smagnetizzare completamente un materiale ferromagnetico è percorrere cicli di isteresi sempre più stretti fino a far "collassare" la curva in prossimità dell'origine. In alternativa, ciò che permette a qualsiasi materiale di perdere la magnetizzazione acquisita è il movimento degli atomi dovuto all'agitazione termica. Il valore di temperatura

oltre il quale un materiale ferromagnetico perde la propria magnetizzazione varia da materiale a materiale e prende il nome di *temperatura di Curie*.

Da questa brevissima spiegazione del funzionamento di una singola unità dei moduli si può cogliere il vantaggio dell'utilizzo di questi display quando il messaggio da riprodurre è statico per diverso tempo. Una volta disposti i pixel come desiderato, infatti, sarà possibile rimuovere tutta la corrente dal display, e questo rimarrà inalterato.

Per gestire un intero display, con qualche centinaio di punti, è necessario creare delle matrici con dei segnali di controllo che permettano di controllare il capovolgimento dei singoli dischetti. L'individuazione del funzionamento e collegamento di una matrice di moduli ad un controller centralizzato è stata frutto di una operazione di ingegnerizzazione inversa sul dispositivo a disposizione per i test riportati in seguito.

Normalmente vengono usati un segnale di SET (V+) e uno di RESET (GND) per ogni riga e per ogni colonna. Di seguito si riporta uno schema di un semplice modulo composto da 3 righe e 3 colonne, che viene quindi gestito da 12 segnali.

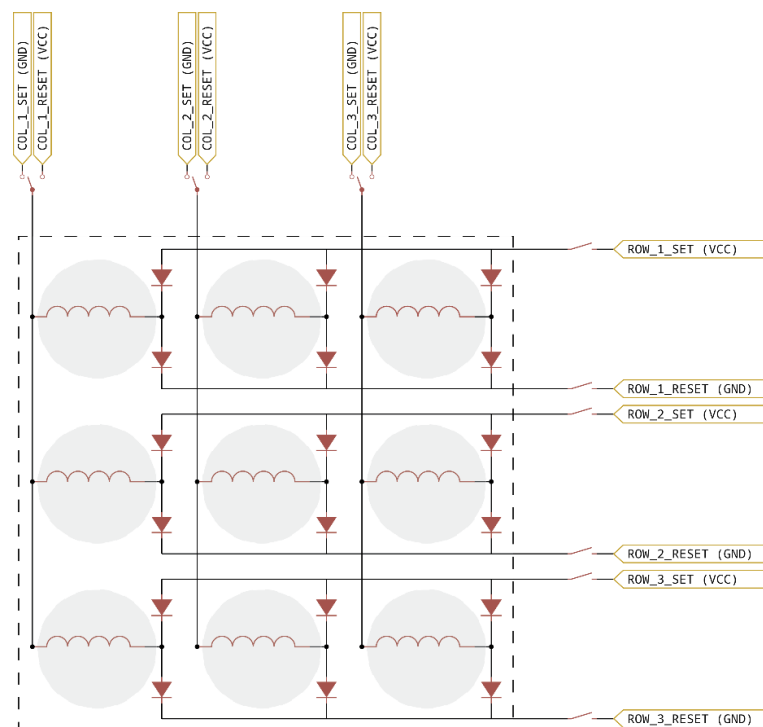


Figura 36. Schema del collegamento a matrice di 9 moduli del pannello flip-dot

Volendo capovolgere il disco in alto a sinistra esponendo il lato colorato (accendere), sarà necessario collegare ROW_1_SET alla tensione di alimentazione e COL_1_SET a GND, in modo da inviare un impulso di corrente, e aprire nuovamente gli interruttori. La corrente non potrà scorrere in altre direzioni poiché bloccata dai diodi e dagli interruttori aperti posti nel circuito. Allo stesso modo, per spegnere il *dot* bisognerà collegare ROW_1_RESET a GND e COL_1_RESET alla tensione di alimentazione.

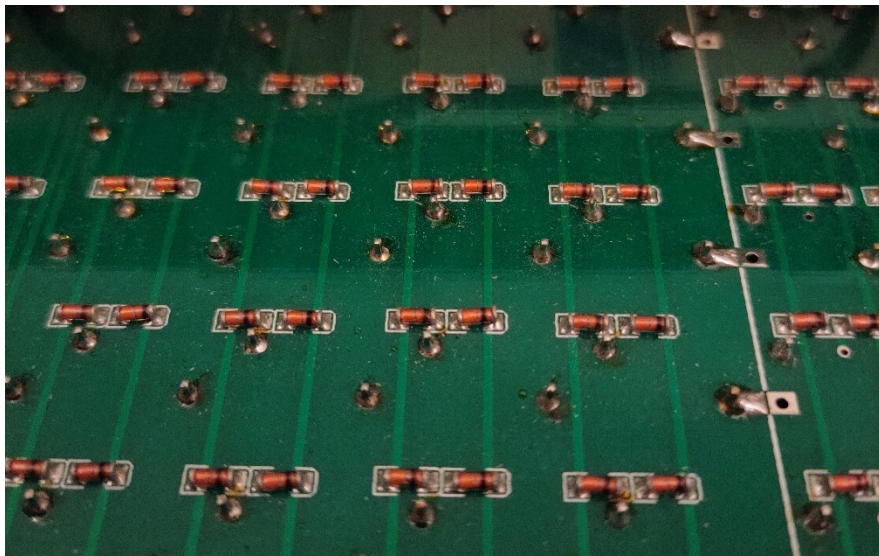


Figura 37. Circuiti stampati di un pannello flip-dot dove sono chiaramente riconoscibili i due diodi per ogni dot

Questa disposizione in matrice permette il controllo di più dischetti contemporaneamente, ma non tutte le combinazioni potranno essere indirizzate simultaneamente. Ad esempio, volendo capovolgere il *dot* in alto centrale (0,1) e a destra centrale (1,2) si andrà a capovolgere involontariamente anche quello al centro della matrice (1,1). Per questo motivo, è necessario essere in grado controllare ogni riga e colonna separatamente in successione.

Sulla scheda su cui sono saldati tutti i solenoidi e i circuiti esposti in precedenza, sono presenti anche i connettori di righe e colonne che saranno collegati al controller. Il controller gestisce i flussi di corrente all'interno dei *dot* del singolo pannello. Per controllare la riga e la colonna sulla quale si va ad agire, vengono utilizzati degli *shift register* che permettono un controllo completo sulla selezione.

Ogni matrice dispone di un controller dedicato per la gestione dei flussi di corrente all'interno dei *dot* del pannello e la gestione di più matrici sarà compito di un driver esterno.

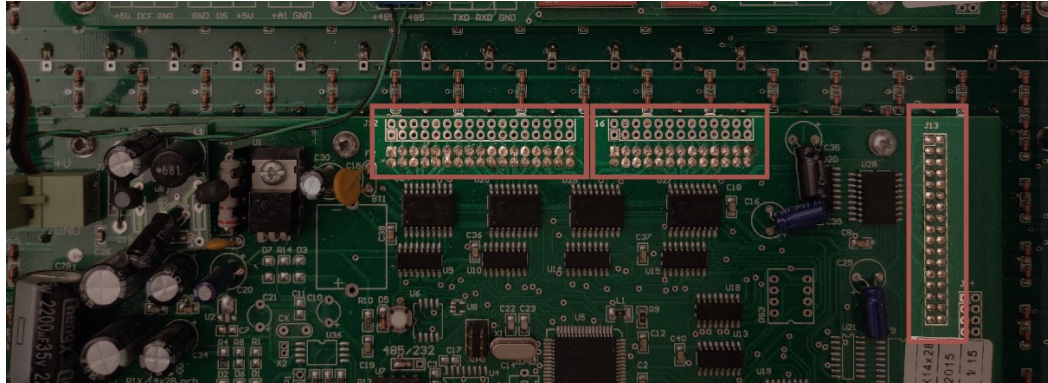


Figura 38. Parte del circuito del controller del pannello AlfaZeta XY5 14x28 con i pin dedicati a righe e colonne della matrice in evidenza

Una caratteristica interessante dei display flip-disc, in comune con quelli con tecnologia e-ink⁵⁰, è la modalità con cui viene utilizzata l'energia. Come si è visto in precedenza, viene utilizzata energia solo nel momento in cui si intende modificare la visualizzazione, fattore che pone questo tipo di tecnologie a metà tra i display attivi e passivi. La differenza tra queste due tipologie di display è proprio l'uso dell'elettricità: un display informativo passivo trasmette informazioni senza dipendere dall'elettricità (è sempre acceso), mentre un display informativo attivo richiede elettricità per mostrare informazioni. La distinzione non dipende dalla tecnologia impiegata, ma dal contesto specifico di utilizzo del display.

⁵⁰ I display e-ink, chiamati anche *carta elettronica*, da *electronic ink*, sono degli schermi che imitano l'aspetto dell'inchiostro su un foglio, riflettendo la luce ambientale anziché emetterla. È una tecnologia nata nel 1996 ed è oggi comunemente utilizzata negli *e-book reader*, permettendo un bassissimo uso energetico, in quanto richiede elettricità solo nel momento in cui si vuole modificare ciò che è visualizzato sullo schermo.

5. Progettazione per display *flip-dot*

Nelle sperimentazioni di questa tesi sono stati utilizzati 8 moduli modello XY5 (versione 2015) della casa produttrice AlfaZeta, composti da 14x28 *dots* da 8,9mm di diametro e interfaccia di controllo RS-485.



Figura 39. Moduli Alfazeta XY5

La comunicazione con il controller dei pannelli avviene con protocollo seriale utilizzando come driver un Raspberry Pi 4 Model B. L'intero software di gestione del display è stato scritto in Javascript ed eseguito attraverso Node.js.

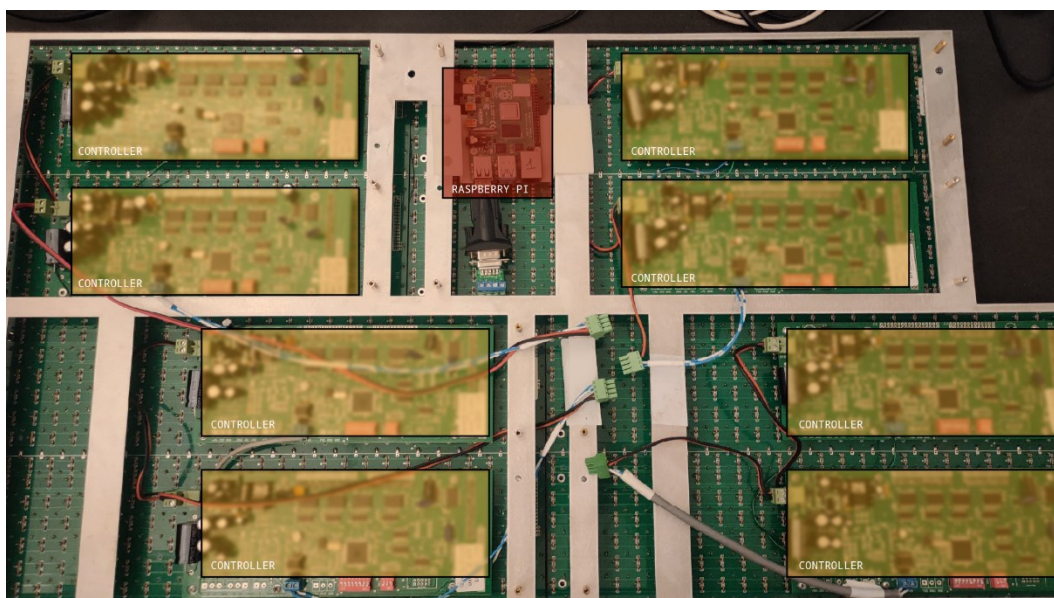


Figura 40. Schema dei componenti hardware sul retro del display flip-dot

Per effettuare i diversi test riportati in questo capitolo più agevolmente e con una dimensione del pannello maggiore rispetto a quello a disposizione, è stata

sviluppata una applicazione web con framework Vue.js, in allegato alla tesi, in grado di simulare un pannello flip-dot di dimensioni arbitrarie. All'interno dell'applicazione è possibile muoversi attraverso diversi strumenti per effettuare i test. In alternativa, è anche possibile utilizzare la stessa applicazione per visualizzare i test sul pannello fisico sopracitato, collegandosi al server creato nella rete locale.

All'interno dell'applicazione è possibile impostare le dimensioni del pannello in pixel (equivalente al numero di dot), e una scala, che non influisce sul rendering all'interno dei canvas ma permette di vedere con più precisione il contenuto del display. Tutti i contenuti vengono disegnati all'interno di un canvas delle dimensioni inserite moltiplicate per la scala scelta. Sotto al canvas è stato invece realizzato un simulatore del risultato percepibile attraverso un pannello flip-dot, il quale genera un piccolo cerchio per ogni pixel del canvas soprastante, colorandolo o di bianco o di nero a seconda che il colore in input sia sopra o sotto un valore di soglia. Infine, premendo un pulsante è possibile effettuare il download dell'immagine simulata.

Il valore di soglia può essere sia gestito manualmente sia calcolato in modo automatico attraverso gli algoritmi di calcolo della soglia adattiva locale o globale, attraverso l'algoritmo di Otsu, approfonditi in seguito.

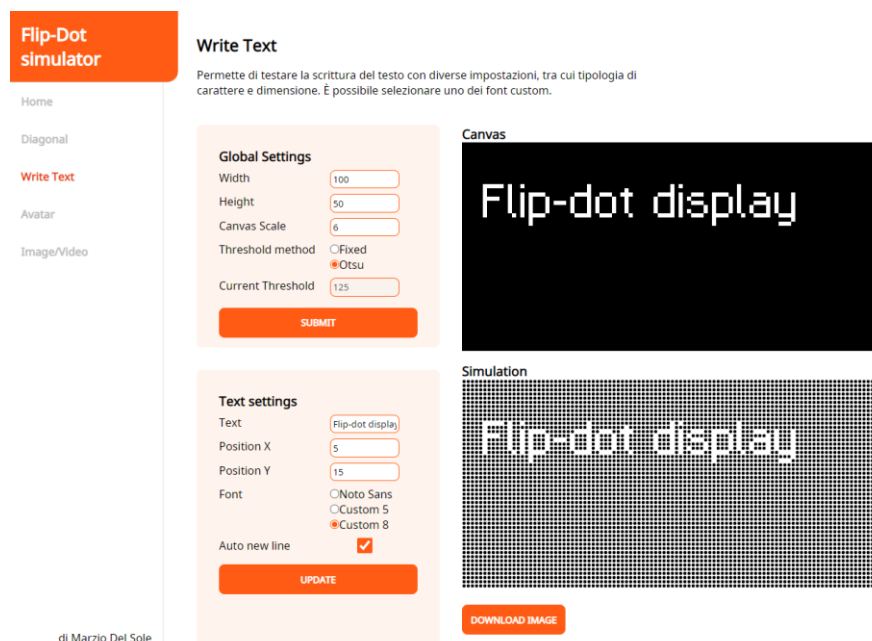


Figura 41. Esempio di schermata dello strumento di simulazione sviluppato per i test

5.1. Visualizzazione delle informazioni

La grande limitazione, e allo stesso tempo punto di forza, di un display flip-dot è sicuramente la risoluzione molto bassa, che unita alla disponibilità di un solo bit per pixel (che può essere bianco o nero, acceso o spento), rende la visualizzazione delle informazioni un interessante campo di studio e sperimentazione.

Due aspetti che si è ritenuto fondamentale analizzare per la progettazione del display sono stati la visualizzazione del testo e la visualizzazione delle immagini o forme. Nella visualizzazione di dati, in modo particolare, è fondamentale comunicare ciò che sta venendo visualizzato attraverso delle etichette, così come gli inviti all'azione possono essere espressi esplicitamente utilizzando del testo. La breve analisi relativa alla visualizzazione delle immagini (statiche o in movimento) attraverso le tecniche di pixelizzazione è stata condotta principalmente per studiare la possibile riproduzione di immagini o flussi video in tempo reale provenienti da videocamere in modo da ricreare un "effetto specchio" per permettere l'interazione, e la conversione di flussi preregistrati in file riproducibili dai display.

5.1.1. Visualizzazione del testo

In italiano, i termini anglosassoni *readability* e *legibility* vengono tradotti entrambi con "leggibilità". È possibile distinguere due livelli di leggibilità, legati a processi mentali diversi. Un primo livello (*legibility*), si riconduce alla capacità del lettore di distinguere correttamente lettere, parole e frasi all'interno di un testo ed è legato al processo visivo, alla capacità dell'occhio umano di leggere un testo senza difficoltà. Un secondo livello (*readability*) è legato alla capacità del cervello di interpretare il messaggio che vuole essere trasmesso e riguarda l'area cognitiva e la capacità significativa dei segni che vengono letti.

Nella scelta del *typeface* per display di tipo pubblico, caso in cui lo sguardo degli utenti si posa su di essi per una brevissima frazione di tempo, è importante porre la massima attenzione alla *legibility* del font. Il messaggio deve essere chiaro e inequivocabile. Un testo illeggibile, non comunica, e se i

caratteri non riescono ad essere decifrati in modo corretto, il messaggio non arriverà al destinatario.

Nel rendering a 1 bit, le rappresentazioni di forme e di caratteri di piccole dimensioni possono generare eventi di *aliasing*, caso che diventa frequente nel caso di risoluzioni basse come quelle prese in analisi. Questo fenomeno si forma quando linee curve o diagonali creano dei bordi frastagliati, a gradini. In questi casi, se vengono a mancare anche le informazioni di *hinting*, gli stessi caratteri o simboli potrebbero essere renderizzati e spaziati diversamente tra loro, diminuendo la qualità e l'intelligibilità del testo.

L'*hinting* è il processo che permette di ottimizzare i caratteri dei font per lo schermo che viene utilizzato, cercando quindi di ottenere la massima leggibilità. Le forme delle lettere sono progettate e memorizzate come contorni, secondo delle primitive geometriche, e dunque risultano perfette solo ad alte risoluzioni, mentre quando convertite in pixel (*resterizzate*) possono risultare distorte o illeggibili. Nel web design per anni ci si è limitati ad una dozzina di font (quali ad esempio il Verdana, Georgia, Arial), pensati appositamente per essere visualizzati su schermi con densità di 72-96dpi con dimensioni tipiche di 9-14pt. Queste famiglie di caratteri, considerate spesso "gratuite", ma in realtà molto costose, contengono un disegno diverso per ogni carattere ad ogni grandezza, in modo da ottimizzare la forma delle linee nel momento della conversione in pixel.

Nell'immagine seguente è possibile osservare come il carattere Fedra Sans Screen Regular, modifichi i suoi tracciati in base alla dimensione in ppem (*pixel per em*) e come avvenga la relativa conversione in pixel.

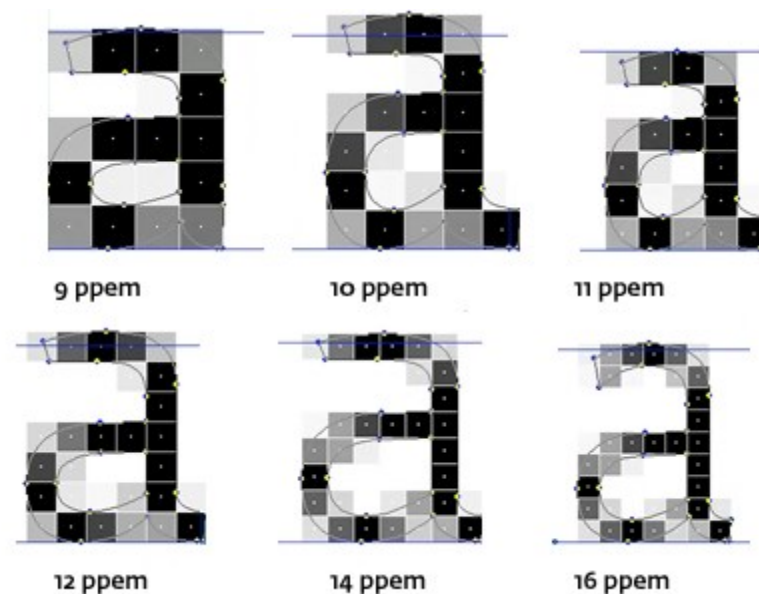


Figura 42. Differenza tra i tracciati di caratteri a diverse dimensioni

Sul web, i “font sicuri” sono da qualche anno stati abbandonati in molti casi, preferendo caratteri personalizzati, il che, pur aprendo nuove possibilità per il design, solleva anche nuovi problemi poiché la grande maggioranza dei font è *non-hinted*. Inoltre, tecnologie diverse approcciano la tecnica dell'*hinting* in modi diversi, ad esempio con il sistema PostScript la gestione del carattere è affidata al rasterizzatore, mentre con il sistema TrueType, le istruzioni per il rasterizzatore sono contenute all'interno del carattere. L'alta disponibilità di pixel e la loro alta densità sui display di laptop, pc, e smartphone, ha reso il problema dei caratteri *non-hinted* marginale rispetto ai bagliori dei siti internet.

Nell'ambito della visualizzazione dei caratteri su display fisici come ad esempio il display flip-dot, che, come si è visto, possiede un numero limitato di pixel, è necessario utilizzare caratteri studiati appositamente per l'hardware scelto, i quali necessitano il *grid-fitting*. Questo tipo di *hinting* ha avuto i primi sviluppi quando gli schermi non potevano mostrare scale di grigio, e controlla quali pixel vengono mostrati come accesi e quali spenti ad una certa dimensione in punti del carattere.

- a) A flip-dot is a physical display
- b) A flip-dot is a physical display

Figura 43. Confronto tra il font Noto Sans a dimensione 15px senza grid-fitting (a) e con grid-fitting (b)

Nei casi sopra visualizzati le diagonali e le curve sono ancora suscettibili all'*aliasing*. Con l'avvento di Windows 98 è stata introdotta la tecnica dell'*anti-aliasing*, che attenua l'effetto delle linee frastagliate utilizzando diverse tonalità di grigio sui bordi. Tuttavia, questa tecnica non può essere utilizzata su display che mettono a disposizione solo 1 bit per la rappresentazione dei livelli di grigio (bianco e nero), sui quali si può parlare di visualizzazione *bit-mapped*.

- a) A flip-dot is a physical display
- b) A flip-dot is a physical display
- c) A flip-dot is a physical display
- d) A flip-dot is a physical display

Figura 44. Confronto tra il font Noto Sans a dimensione 15px con diverse impostazioni: senza *grid-fitting* con *anti-aliasing* (a), con *grid-fitting* con *anti-aliasing* (b), senza *grid-fitting* senza *anti-aliasing* (c), con *grid-fitting* senza *anti-aliasing* (d)

Nella generazione di testi per l'uso di display flip-dot, o più in generale su display a bassa risoluzione che non permettono l'utilizzo di sfumature di grigio, è quindi raccomandato l'uso di font *grid-fitted* senza *anti-aliasing*, il quale potrebbe generare artefatti al momento della scelta tra pixel acceso o spento.

Per testare le diverse impostazioni sui caratteri, è stato sviluppato uno strumento in grado di simulare i risultati ottenuti con un display flip-dot al cambio delle impostazioni del font. Attraverso questo strumento è possibile definire il contenuto testuale da rappresentare, la dimensione del carattere, la posizione in pixel alla quale iniziare la scrittura su entrambi gli assi, l'uso o meno del *grid-fitting* (*hinting*) e quello di un carattere monospace. Utilizzando il linguaggio web per lo sviluppo dell'intero software di gestione del display, non

è possibile effettuare una scelta sull'uso o meno dei filtri anti-aliasing sui testi disegnati sui canvas (impostazioni gestite dai singoli browser), ma l'effetto è gestito modificando la soglia sopra la quale il pixel verrà interpretato come acceso e sotto la quale verrà considerato spento.

Si possono notare di seguito i risultati dei test con varie impostazioni (nell'ordine):

- Noto Sans, dimensione 10px, soglia 166/255
- Noto Sans, dimensione 10px, *monospace*, soglia 166/255
- Noto Sans, dimensione 10px, *grid-fitted*, soglia 166/255
- Noto Sans, dimensione 10px, *grid-fitted, monospace*, soglia 166/255



Figura 45. Confronto tra simulazioni di testi disegnati su un display flip-dot al variare delle impostazioni di grid-fitting e monospacing

Come si può notare dai test effettuati, il *grid-fitting* risulta essere di estrema importanza per il disegno di caratteri correttamente leggibili. L'uso di font monospace permette di aumentare ulteriormente la leggibilità dei caratteri, imponendo una spaziatura costante dei caratteri anche sull'asse orizzontale. Nelle prove effettuate con un font non monospace, infatti, è possibile notare

come le stesse lettere risultino disegnate diversamente tra una ricorrenza e l'altra.

Modificando le dimensioni dei caratteri e la soglia di confronto è possibile notare come le considerazioni fatte in precedenza siano nuovamente applicabili. Di seguito:

- Noto Sans, dimensione 12px, soglia 166/255
- Noto Sans, dimensione 12px, *grid-fitted, monospace*, soglia 166/255
- Noto Sans, dimensione 11px, soglia 120/255
- Noto Sans, dimensione 11px, *grid-fitted, monospace*, soglia 120/255



Figura 46. Confronto del carattere Noto Sans con diverse impostazioni di *hinting*, *monospacing* e soglia

Tuttavia, anche l'utilizzo di un carattere monospaziato con *grid-fitting* può risultare difficilmente leggibile a dimensioni inferiori ai 9-10px. Per risolvere questo problema si propone dunque la creazione o l'utilizzo di font progettati appositamente per essere utilizzati ad una dimensione ed un peso prefissato.

I font pensati per questo scopo sono stati due, uno completo di lettere maiuscole, minuscole, numeri, accenti e simboli di altezza massima 8px e uno con sole lettere maiuscole, numeri e qualche simbolo, di altezza 5px. Questi font, denominati nel tool di simulazione come “custom5” e “custom8”, sono stati disegnati pixel per pixel e non sono di conseguenza adatti ad essere scalati, ma solo ad essere renderizzati alla dimensione indicata.

Di seguito si possono vedere tutti i caratteri inclusi nei due font creati così come apparirebbero su un display flip-dot:



Figura 47. I caratteri inclusi nei due font personalizzati creati per la visualizzazione dei testi su display flip-dot

Dalle immagini seguenti è possibile notare la maggiore leggibilità dei font personalizzati creati per le dimensioni 5 e 8 px rispetto al font Noto Sans Monospace con grid-fitting, opzione precedentemente ritenuta la migliore.



Figura 48. Confronto tra il carattere Noto Sans Monospace con grid-fitting e due tipologie di carattere personalizzate

5.1.2. Visualizzazione di immagini e video

Nella visualizzazione delle immagini in movimento si possono individuare tre tipologie di limiti diverse: limiti temporali, limiti spaziali, e limiti nella risoluzione dei campioni, tutti dovuti alle caratteristiche hardware del display. I limiti temporali sono causati dal tempo necessario ai dischi per compiere meccanicamente una rotazione di 180 gradi e da quello necessario al circuito per invertire la polarità degli elettromagneti. I limiti spaziali e quelli relativi alla risoluzione dei campioni invece sono quelli più immediati da cogliere, dovuti alla bassa risoluzione della matrice di punti e alla possibilità di utilizzare un solo bit per la scelta del colore.

Tutti gli schermi fisici impongono delle limitazioni per quanto riguarda la tavolozza di colori utilizzabili (comprendendo nella definizione di colore anche condizioni di luce o altri metodi pensati per distinguere diversi stati dei pixel fisici⁵¹) e la risoluzione, significativamente ridotta. Con questi presupposti, diventa un compito estremamente importante scegliere con cura la posizione e il “colore” di ogni pixel in modo che l’immagine finale rappresenti al meglio l’informazione di partenza.

⁵¹ Come si è potuto osservare negli esempi riportati in precedenza, non vengono solamente utilizzati elementi colorati per prendere il posto dei pixel, ma si sfruttano anche condizioni di luce e ombra, così come riflessi, inclinazione o orientamento di oggetti, ecc.

Questo procedimento può essere accostato alla *pixel art*, forma di arte prevalentemente digitale nata negli anni Ottanta che prevede la creazione di immagini a bassa definizione utilizzando i pixel come elementi costruttivi. Le opere di *pixel art*, così come gli schermi fisici, hanno la caratteristica di essere normalmente osservati da una distanza dalla quale la griglia dei pixel è chiaramente visibile, il che contribuisce alla percezione dell'immagine.

Il processo di *pixelizzazione* non può essere una semplice mappatura sulla griglia, poiché devono essere considerate diverse caratteristiche dell'immagine di ingresso, eventualmente astraendo e ridimensionando, in modo da rendere possibile una corretta lettura ed interpretazione da parte dello spettatore. I metodi di *downsampling* più semplici non riescono sempre a catturare accuratamente le informazioni in ingresso, per le quali si rendono necessari degli algoritmi più avanzati o la creazione di opere a mano, pixel per pixel.

È possibile suddividere il processo di conversione da immagine a colori in alta risoluzione a immagine binaria a bassa risoluzione in due fasi, il *downsampling*, che ha come obiettivo la riduzione della risoluzione dell'immagine, e il *thresholding*, con obiettivo la suddivisione dei pixel in accesi e spenti.

5.1.2.1. Thresholding

Il problema principale da affrontare quando si vuole convertire un'immagine a colori o in scala di grigi a un'immagine binaria, è il *thresholding*. Questa operazione di soglia, ha come obiettivo l'identificazione di oggetti all'interno di un'immagine, e nelle immagini binarie è sinonimo dell'operazione di segmentazione, la suddivisione dell'immagine in regioni uniformi. Perché il *thresholding* sia efficace nella separazione tra oggetti e sfondo, è necessario che ci sia sufficiente contrasto tra i due elementi e che si conosca l'intensità di entrambi. In un contesto a soglia fissa T , un'immagine binaria $B[i, j]$ risultato dell'operazioni di *thresholding* sull'immagine a scala di grigi $F[i, j]$ sarà quindi

$$B[i, j] = \begin{cases} 1, & \text{se } F[i, j] \leq T \\ 0, & \text{altrimenti} \end{cases}$$

Oppure, si possono anche utilizzare due diverse soglie nel caso in cui si conosca la precisa posizione nell'istogramma dei valori di grigio degli oggetti in primo piano.

Tuttavia, l'impostazione di una soglia fissa non è il metodo più efficace per la suddivisione, in quanto il risultato sarebbe troppo suscettibile ai cambiamenti di illuminazione. Un metodo più adatto è quello che prevede l'uso di una soglia globale adattiva, che risulta dipendente dall'istogramma. La tecnica prevede di individuare una soglia di partenza ed utilizzarla per suddividere in due gruppi i pixel dell'immagine; verrà poi calcolata l'intensità media dei pixel di entrambi i gruppi ed estratta la media tra i due, la quale verrà utilizzata per una nuova suddivisione in due gruppi. Ripetendo gli ultimi due passi dell'algoritmo si giungerà ad un valore di soglia localmente ottimo (rispetto all'istogramma attuale e alla soglia iniziale scelta), che tuttavia non è garantito essere quello ottimo a livello globale.

Un miglioramento della tecnica di sogliatura automatica è stato fornito dall'algoritmo di Otsu⁵², che si basa su una modellizzazione statistica dei livelli di grigio. In questo caso, il problema dell'identificazione di una soglia viene visto come problema statistico. L'idea è che le classi di valori dovrebbero essere ben distinte in rispetto ai valori di intensità e una soglia si ritiene ideale se le classi sono massimamente separate tra loro, ovvero la loro varianza è massima.

Si prenda un'immagine $M \times N$ con L livelli di grigio e si definisca n_i il numero di pixel di intensità i . È possibile definire un istogramma normalizzato della distribuzione di probabilità $p_i = n_i/NM$. Si prenda ora una soglia k dove $0 < k < L - 1$ e si dividano i pixel in due classi, C_1 se i pixel sono compresi in $[0, k - 1]$ e C_2 se i pixel sono compresi in $[k, L - 1]$. Queste due classi possono essere considerate due oggetti di valori m_1 e m_2 , uguali al valor medio della classe, e probabilità P_1 e P_2 .

$$P_1(k) = \sum_{i=0}^{k-1} p_i \quad m_1(k) = \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^{k-1} ip_i \quad P_2(k) = \sum_{i=k}^{L-1} p_i \quad m_2(k) = \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k}^{L-1} ip_i$$

⁵² L'algoritmo, o metodo, di Otsu prende il nome dal suo inventore Nobuyuki Otsu, che lo ideò nel 1979

Il metodo di Otsu considera la media e la varianza tra le classi di questi due oggetti. L'obiettivo è trovare la varianza tra le classi massima, in modo da garantire la massima separazione tra m_1 e m_2 . Il criterio scansiona tutte le soglie possibili fino a trovare il valore che massimizza la varianza interclasse.

La varianza si può esprimere come

$$\begin{aligned}\sigma_B(k) &= P_1(k)(m_1(k) - m_G)^2 + P_2(k)(m_2(k) - m_G)^2 = P_1 P_2 (m_1(k) - m_2(k))^2 \\ &= \frac{(m_G P_1(k) - m(k))^2}{P_1(k)(1 - P_1(k))}\end{aligned}$$

Dove

$$m_G = P_1(k)m_1(k) + P_2(k)m_2(k)$$

La scansione delle soglie può essere fatta in modo efficiente in quanto i termini $P_1(k)$ e $m(k)$ si possono aggiornare facilmente:

$$\begin{aligned}P_1(k+1) &= P_1(k) + p_{k+1} \\ m(k+1) &= m(k) + (k+1)p_{k+1}\end{aligned}$$

Compiendo la scansione per ogni soglia, è possibile trovare un parametro k^* che massimizza la varianza interclasse e che rappresenta la mia soglia ottimale, trovata senza dipendere dalle soluzioni locali.

Questo metodo è stato implementato nello strumento di simulazione con la seguente funzione:

```
export default function (imageData) {
  // round input image data
  const data = imageData.map(v => Math.round(v))

  // get all different values in the image
  const values = Array.from(new Set(data)).sort((a, b) => a - b)
  const L = values.length;

  // count how many occurrences of the same value
  const n = data.reduce((acc, curr) => {
    acc[values.indexOf(curr)]++;
    return acc;
  }, [...Array(L)].fill(0))

  // normalize on total
  const total = data.length
  const p = n.map((val) => val / total);

  // calculate mg
  const mg = p.reduce((sum, x, index) => sum + index * x, 0)

  // initialize p1(k) and m(k)
```

```

let p1 = 0
let m = 0

// calculate inter-class variance and update p1 and m
const vars = values.map((_, k) => {
  const v = Math.pow(mg * p1 - m, 2) / ((p1) * (1 - p1))
  p1 = p1 + p[k]
  m = m + k * p[k]
  return !isNaN(v) ? v : 0;
});

const threshold = values[vars.indexOf(Math.max(...vars))]
return threshold;
}

```

Il thresholding con il metodo di Otsu risulta particolarmente efficace nella visualizzazione di video, in quanto permette un ricalcolo real-time della soglia per ogni singolo frame. È possibile vedere alcuni risultati di questo metodo tra gli allegati all'elaborato.

5.1.2.2. *Algoritmi superpixel*

Gli algoritmi più complessi per la pixelization utilizzano la tecnica dei superpixel⁵³, che permette di tenere conto anche delle caratteristiche geometriche particolari dell'immagine ed effettuare un *downsampling* più accurato. In particolare, viene normalmente sfruttato l'algoritmo SLIC (*Simple Linear Iterative Clustering*), basato su *k-means*. In questo procedimento viene considerato uno spazio a cinque dimensioni (L^* , a^* , b^* , x , y), utilizzando le coordinate CIELAB⁵⁴. L'algoritmo viene inizializzato posizionando i centri dei superpixel equispaziati in una griglia regolare con distanza media tra i centri di $S = \sqrt{N/K}$, dove N indica il numero totale di pixel dell'immagine e K il numero finale dei superpixel. In seguito, verranno ricercati i pixel da confrontare con

⁵³ I superpixel sono delle regioni di immagine con estensione compatta all'interno delle quali ci si aspetta un colore simile ma forma irregolare. È un metodo che viene spesso utilizzato nella segmentazione delle immagini per fini di analisi, confronto, ricerca e compressione.

⁵⁴ Lo spazio colore CIELAB o Lab è uno spazio colore definito dalla CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*) nel 1976 e rappresenta i colori con tre valori: L^* per l'intensità luminosa percepita, e a e b per i valori di cromaticità riferiti alla visione umana. In questo spazio colore, se due coppie di punti possiedono una distanza euclidea uguale tra loro, allora anche la distanza cromatica percepita dall'occhio sarà uguale.

algoritmo *k-means* all'interno di una regione delimitata (di dimensione $2S \times 2S$) in modo da evitare la crescita eccessiva dei superpixel.

Le distanze che vengono calcolate sono due, una basata sulle componenti di colore L^* , a^* e b^* e una su quelle spaziali x e y , le quali vengono poi unite utilizzando dei pesi differenti. In particolare, la distanza spaziale viene normalizzata, dividendola per S , e pesata attraverso un parametro m , che controlla la compattezza dei superpixel. Maggiore è m , più peso avrà la distanza spaziale e di conseguenza i cluster saranno più regolari. La distanza risulta quindi essere:

$$D = \sqrt{d_c^2 + \left(\frac{d_s}{S}\right)^2 m^2}$$

Una volta classificati i pixel secondo la categoria con distanza minore dal centro del cluster, vengono ricalcolati i centri e iterato il processo. L'algoritmo termina quando la distanza tra il centro del nuovo cluster e quello del vecchio non sarà inferiore ad una certa soglia, o fino al raggiungimento di un numero prestabilito di iterazioni (in generale una decina).

Altri algoritmi utilizzati riguardano il rilevamento di oggetti a cascata, filtri gaussiani bilaterali per ridurre il rumore preservando i contorni delle forme, e la valorizzazione dei bordi.

5.2. Interazione

5.2.1. Prototipo di controller fisico

Come accennato in precedenza, i controller remoti tangibili sono probabilmente una delle tipologie più comuni per l'esplorazione delle visualizzazioni, pur non avendo una grande diffusione nell'ambito dei display fisici.

Si è deciso di concentrarsi sulla realizzazione di un prototipo di controller fisico remoto che permettesse un tipo di interazione *eyes-free*, ovvero non necessitasse lo sguardo dell'utente per poter portare a compimento le azioni, e permettergli dunque di rimanere concentrato sul display. Questa tipologia di controller è molto comune tra i dispositivi quotidiani (primo esempio tra tutti, il

telecomando del televisore, o il mouse e la tastiera del pc), ed è quindi possibile che l'utente sia più a suo agio con l'utilizzo.

In modo particolare, la configurazione scelta è stata un "ricalco" dei pannelli di controllo dei cabinati per i videogiochi arcade. L'utilizzo di un joystick e due pulsanti si è rivelato nella storia dei controller una combinazione valida sia per quanto riguarda la specificità sia la generalità e versatilità (Controller NES, Super Nintendo). Pensato per un display fisico flip-dot con un contenuto non definito interamente a priori, questo tipo di configurazione permette il controllo del maggior numero di applicazioni possibili. Nel prototipo realizzato si è deciso di sostituire il classico joystick arcade con un *thumb-joystick*, molto simile a quello implementato nei controller delle popolari console da gioco, mantenendo invece inalterato il design degli *arcade buttons*. L'utilizzo di una disposizione dei tasti già "riconosciuta" da molti utenti porta così a diminuire drasticamente l'attenzione visiva richiesta dal controller, in modo particolare durante i primi utilizzi.

La motivazione della sostituzione del controllo a due assi è stata la natura del controller, pensato per essere tenuto in mano e di conseguenza utilizzato solo con parte delle dita, principalmente i due pollici. Inoltre, la scelta di creare un controller *handheld*, benché collegato con cavo nella versione prototipo, ha aggiunto un fattore di mobilità al sistema, così da soddisfare un ulteriore requisito per l'esplorazione fisica dei display informativi.

5.2.1.1. Design del controller

Il prototipo di controller utilizzato per i test descritti in seguito è stato realizzato con un corpo in legno dentro il quale è stato collocato il microcontrollore responsabile della codifica dei segnali dei controlli e della trasmissione dei dati al sistema. Sulla parte superiore del controller sono stati posizionati i due pulsanti, sulla sinistra, e il *thumb-joystick*, sulla destra, come nello schema sottostante (vista dall'alto).

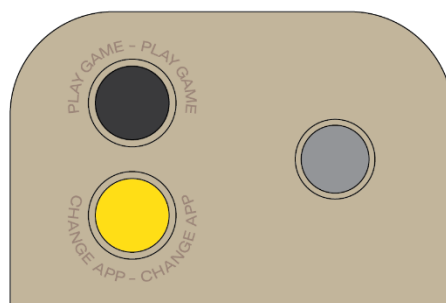


Figura 49. Schema del controller fisico utilizzato per i test

I pulsanti scelti sono stati dei classici pulsanti arcade con 30mm di diametro ad incastro. Il joystick scelto è un joystick a due assi Parallax, che possiede due potenziometri indipendenti (uno per asse) per riportare la posizione in due dimensioni e, a differenza di altri, i connettori sono posti perpendicolarmente alla scheda, in modo da facilitarne il collegamento alle schede. Alcune molle interne permettono il ritorno del joystick alla posizione iniziale nel momento in cui non si applica forza.

Il microcontrollore scelto per il controller è stato un Arduino Micro. Micro è basato su microchip ATmega32U4, possiede 20 GPIO, 7 dei quali possono essere utilizzati in PWM e 12 come input analogici. La scelta di questo microcontrollore è stata dettata principalmente dalle sue dimensioni molto ridotte, che lo rendono perfetto per essere inserito all'interno del controller e collegato tramite la porta USB Micro di tipo B al display (Raspberry Pi).

I componenti sono stati collegati come mostrato nello schema seguente. Si è deciso di sfruttare i pin 3 e 7 per i due pulsanti arcade in modo che il loro cambiamento di stato potesse lanciare una Interrupt Service Routine che gestisse l'input. Sono state poste due resistenze da 10k Ω tra i pulsanti e il GND in modo da mantenere i valori in ingresso ai GPIO 3 e 7 bassi quando il circuito non è chiuso.

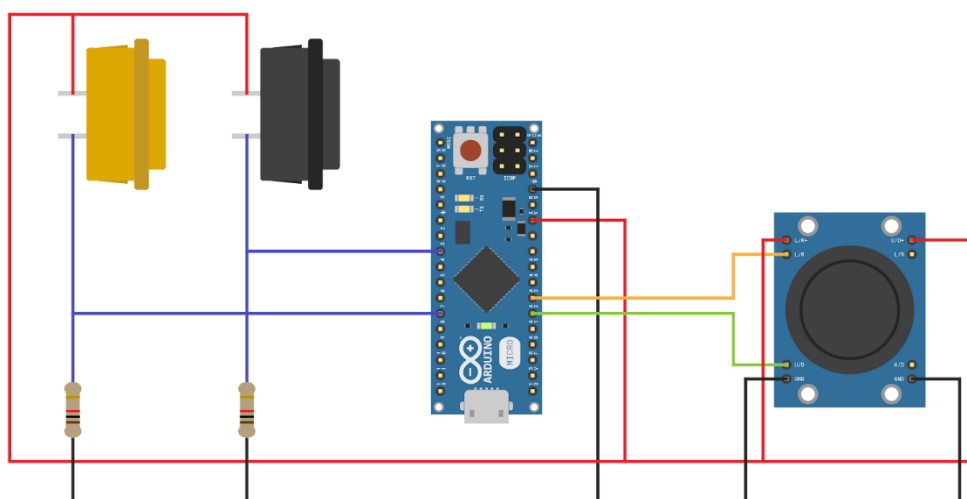


Figura 50. Schema di collegamenti per il controller fisico utilizzato

Il corpo del controller è stato realizzato in legno multistrato di spessore 3mm, tagliato con una macchina a taglio laser. Si è deciso di arrotondare gli spigoli del lato superiore in modo da rendere il controller più ergonomico e semplice da impugnare. Le dimensioni di larghezza e altezza sono state determinate sperimentalmente sempre al fine di creare un dispositivo che fosse comodo nell'utilizzo, considerata l'altezza interna obbligata di almeno 4cm necessaria a contenere tutti i componenti dei circuiti. L'arrotondamento degli spigoli è stato effettuato tramite delle cerniere a reticolo.

Le cerniere di questo tipo si possono formare quando una serie di tagli paralleli e sovrapposti suddividono una lastra piatta in più sezioni sottili collegate tra loro, in grado di deformarsi più facilmente rispetto alla lastra piena. La curva della lastra si forma così grazie alla torsione dei collegamenti. Quando la cerniera viene piegata, ciascuna maglia si torce lungo la sua lunghezza e, poiché ha una sezione rettangolare, gli angoli si spostano e riducono lo spazio tra le due maglie. La luce di passaggio k tra una maglia e l'altra è data da:

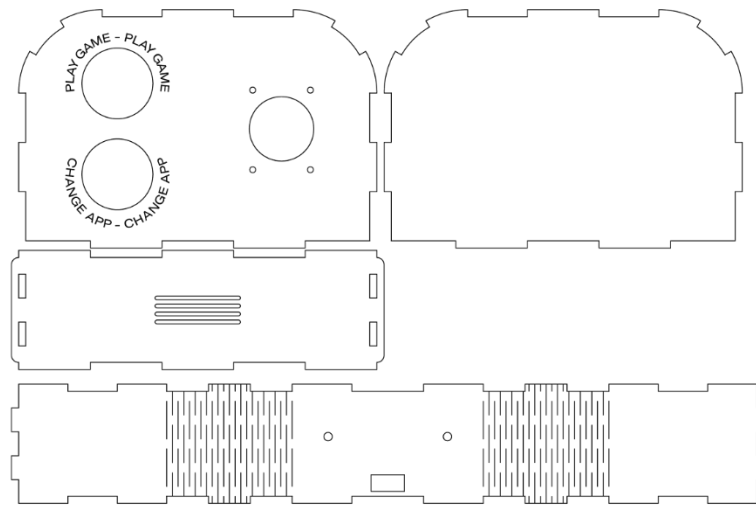
$$k = -t + 2 \sqrt{\frac{t^2}{2} \times \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{n}\right)}$$

dove t è lo spessore del materiale, n il numero di giunti e θ l'angolo di torsione del singolo collegamento. Poiché la luce di passaggio massima k sarà uguale

allo spessore del taglio laser, questa si può fissare a 0.2 mm, dato sperimentale per una lastra di multistrato spesso 3 mm, e trovare il numero minimo di collegamenti necessari per un angolo θ di 90 gradi.

$$n \geq \frac{\theta}{\frac{\pi}{4} - \cos^{-1}\left(\frac{k+t}{s\sqrt{t^2/2}}\right)}$$

Partendo dal *datasheet* del joystick e dei pulsanti si è proseguito con il disegno del file di taglio utilizzando il software Adobe Illustrator e inserendo i fori per le viti delle schede. Sul retro del controller sono stati posti fori per l'aggiunta di un supporto stampato in 3D che permettesse l'aggancio al display quando il controller non viene utilizzato e un foro per il passaggio del filo USB di collegamento. Inoltre, sulla parte frontale si è deciso di inserire una piccola griglia per l'aerazione dei componenti interni. Sono inoltre state aggiunte delle ipotetiche etichette intorno ai pulsanti arcade per indicarne la funzione.



Il risultato ottenuto:

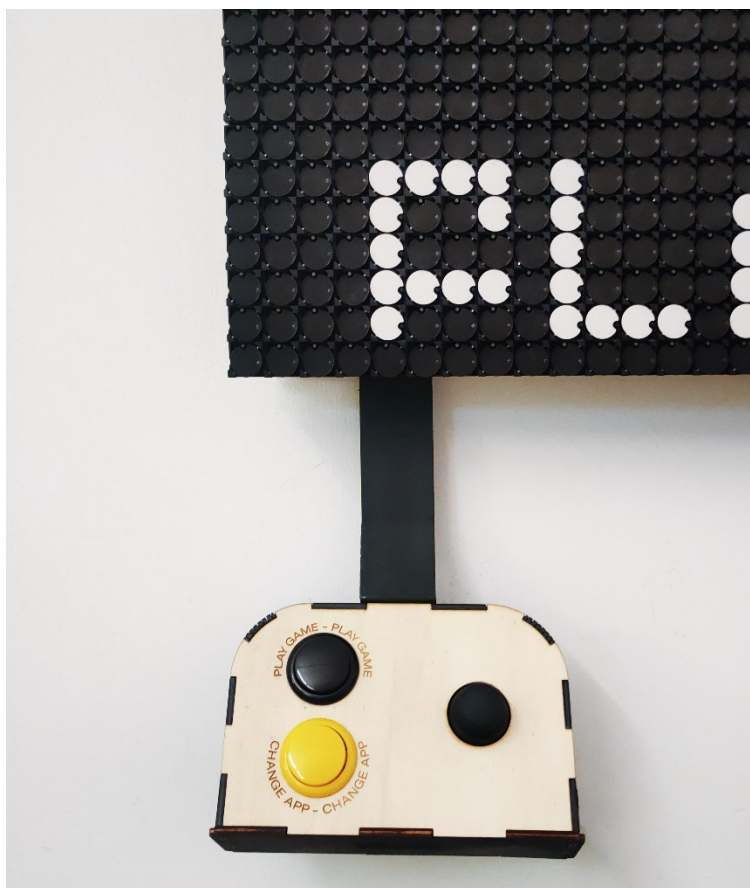


Figura 51. Risultato ottenuto per il controller fisico

5.2.1.2. *Sviluppo per il controller*

Per programmare l'Arduino Micro si è utilizzato l'IDE Arduino Software. Nella fase di setup del microcontrollore vengono assegnati ai pin 3 e 7 le funzioni di interrupt, impostando come modalità la costante *RISING*, così che la funzione indicata venga eseguita nel momento di chiusura del circuito. Viene inoltre aperta la comunicazione seriale con un baud rate di 9600.

All'interno delle due ISR (*Interrupt Service Routine*) è stata introdotta una logica di *debouncing*, per evitare che venissero letti più volte gli input dei pulsanti durante una singola pressione.

```
#define A_BUTTON_PIN 7
#define B_BUTTON_PIN 3

#define DEBOUNCE_TIME 200

volatile long lastDebounceTimeButtonA = 0;
volatile long lastDebounceTimeButtonB = 0;

void setup() {
```

```

Serial.begin(9600);
pinMode(A_BUTTON_PIN, INPUT);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(A_BUTTON_PIN), a_button, RISING);
pinMode(B_BUTTON_PIN, INPUT);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(B_BUTTON_PIN), b_button, RISING);
}

void a_button() {
  long currentTime = millis();
  if ((currentTime - lastDebounceTimeButtonA) > DEBOUNCE_TIME) {
    Serial.println("C/A");
  }
  lastDebounceTimeButtonA = currentTime;
}

void b_button() {
  long currentTime = millis();
  if ((currentTime - lastDebounceTimeButtonB) > DEBOUNCE_TIME) {
    Serial.println("C/B");
  }
  lastDebounceTimeButtonB = currentTime;
}

```

Nella fase di loop il microcontrollore si limita a leggere in modo continuo i valori sui pin A2 e A3, corrispondenti ai potenziometri UD (*up - down*) e LR (*left - right*), e confrontare i valori con determinate soglie per interpretare la direzione del joystick. Nel caso in cui i potenziometri non si trovino in posizione neutra ma soddisfino una delle condizioni elencate, viene inviato il messaggio corrispondente al comando attraverso la porta seriale. Il codice memorizza anche il momento in cui è stato inviato l'ultimo comando, in modo da poterlo ripetere a determinati intervalli di tempo se l'utente scegliesse di mantenere il joystick nella posizione corrispondente.

```

#define UD_PIN A2
#define LR_PIN A3

#define REPEAT_COMMAND_TIME 200

long lastMessageSendTimeUp = 0;
long lastMessageSendTimeDown = 0;
long lastMessageSendTimeLeft = 0;
long lastMessageSendTimeRight = 0;

int UD = 500;
int LR = 500;

String js_new_command = String("");
String js_command = String("");

void checkJoystickInput() {
  UD = analogRead(UD_PIN);
  LR = analogRead(LR_PIN);
  if (UD > 600 && LR < 550 && LR > 450) {

```

```

        sendJoystickInput("UP", &lastMessageSendTimeUp);
    } else if (UD < 400 && LR < 550 && LR > 450) {
        sendJoystickInput("DOWN", &lastMessageSendTimeDown);
    } else if (LR > 600 && UD < 550 && UD > 450) {
        sendJoystickInput("RIGHT", &lastMessageSendTimeRight);
    } else if (LR < 400 && UD < 550 && UD > 450) {
        sendJoystickInput("LEFT", &lastMessageSendTimeLeft);
    }
}

void sendJoystickInput(String command, long *repeat_time) {
    js_new_command = command;
    if (js_new_command.equals(js_command) && millis() - *repeat_time <
    REPEAT_COMMAND_TIME) {
        return;
    }
    Serial.println("C/" + js_new_command);
    js_command = js_new_command;
    *repeat_time = millis();
}

```

Le stringhe corrispondenti ai messaggi dei vari input che sono state scelte sono composte da una prima lettera 'C/', corrispondente a *command*, seguita dal nome del comando, che per il joystick sarà UP, DOWN, LEFT o RIGHT, mentre per i pulsanti A o B. Si è deciso di indicare che si tratta di un comando poiché in fase di test lo stesso microcontrollore è stato utilizzato anche per il collegamento di sensori (per i quali veniva utilizzata la lettera 'S/'), come si vedrà nel seguente paragrafo.

I messaggi inviati dall'Arduino Micro attraverso la comunicazione seriale, vengono letti dal server NodeJS attraverso SerialPort, una libreria Javascript realizzata per permettere il collegamento con le porte seriali. Il server middleware a sua volta legge i messaggi in arrivo dalla porta seriale e li invia in rete all'applicazione di gestione del display. Per rendere possibile questa comunicazione viene utilizzata socket.IO, una libreria Javascript, costruita sul protocollo WebSocket, che permette la comunicazione a bassa latenza sia bidirezionale sia basata su eventi, tra server e client.

```

const io = require("socket.io");
const SerialPort = require("serialport");
const Readline = require("@serialport/parser-readline");

const defaults = {
    socketPort: 3002,
    serialPort: "/dev/ttyUSB0",
};

export class FlipdotControlServer {
    constructor(options) {

```

```

super()
options = {
  ...defaults,
  ...options,
};

console.log("initializing controls server on port: ", options.serialPort);
this.io = io();
this.io.on("connection", () => {
  console.log("socket connected");
});
this.io.listen(options.socketPort);
console.log(`socket url: http://localhost:${options.socketPort}`);
this.initSerial(options.serialPort);
}

initSerial(serialPort) {
  this.serial = new SerialPort(serialPort);
  const parser = this.serial.pipe(new Readline({ delimiter: "\r\n" }));

  parser.on("data", (data) => {
    console.log(data);
    const msg = data.split("/");
    switch (msg[0]) {
      case "S":
        this.io.emit("sensor", msg[1]);
        break;
      case "C":
        this.io.emit("command", msg[1]);
        break;
    }
  });
}
}

```

I comandi in ingresso dal controller sono stati in seguito utilizzati per gestire la navigazione di menu in modo da testare l'effettiva compatibilità con l'uso con un display fisico. La navigazione di un menu attraverso l'uso di un controller come quello progettato è un compito che siamo spesso portati a compiere nella quotidianità, basti pensare all'uso di un telecomando per controllare i menu dei televisori o delle più comuni consolle da gioco. Questa tipologia di controller fornisce tutte le possibilità per proporre sul display delle classiche interfacce di navigazione. L'esplorazione dello spazio è possibile in tutte le direzioni grazie al *joystick* e si hanno a disposizione due pulsanti per azionare dei *trigger*.

Si è voluto sviluppare un semplice strumento che visualizzasse a schermo un comando da effettuare e attendesse l'input corrispondente da parte dell'utente, in modo da testare in modo empirico le capacità e la velocità di risposta del sistema, nonché la possibilità da parte dell'utente di non mantenere lo sguardo fissato sul controller. Una volta premuto il tasto

corrispondente, dopo un intervallo di tempo casuale, un nuovo comando viene visualizzato sul display.

Dalle prove svolte con il prototipo si è potuto confermare che questa tipologia di controller soddisfa almeno quattro dei cinque requisiti individuati per l'esplorazione visiva dei display (Jansen 2014): poca attenzione visiva (gli utenti sanno utilizzare l'interfaccia dopo averla osservata per pochi istanti), poco ingombro visivo (il controller è tenuto in mano fuori dal campo visivo), mobilità (l'utente può muoversi a piacere nello spazio, a condizione che il cavo di collegamento raggiunga il display), genericità e versatilità (l'utilizzo di pulsanti generici e un joystick apre la strada a diverse possibilità di interfacciamento).

5.2.2. Prototipo di controllo tramite pose estimation

In questa fase della sperimentazione con le diverse modalità di interazione con il display flip-dot, si è voluta esplorare la *avatar based interaction* tramite *pose estimation* effettuata attraverso una videocamera. In particolare, si è voluta esplorare una modalità con la quale fosse possibile l'utilizzo di menu e pulsanti di comando. La *pose estimation* può essere utilizzata, come visto in precedenza, sia per la rilevazione di persone e il loro posizionamento nello spazio, ma anche come strumento di input per l'esplorazione delle visualizzazioni. In questo campo, benché si preferiscano le interfacce a manipolazione diretta, nei sistemi che incorporano più di una funzione, è necessario fornire un mezzo per passare da una funzione all'altra, ed è una pratica consolidata utilizzare menu a questo scopo.

Il menu permette di scegliere tra alcune limitate voci disponibili e deve essere costituito da due componenti: un meccanismo di indirizzamento, per puntare la voce scelta (es. la freccia del mouse), e uno di segnalazione dell'azione (es. il click del mouse). Attraverso l'uso della *pose estimation*, risulta mancare un meccanismo di segnalazione dell'azione, poiché le uniche informazioni a disposizione sono relative alla posizione nello spazio delle varie articolazioni. È necessario quindi individuare un'azione che attivi la segnalazione di conferma della scelta.

Alcune possibilità, tra cui quelle che coinvolgono l'identificazione della posizione delle singole dita e quindi dei movimenti della mano, sono state

scartate poiché la risoluzione delle videocamere e la potenza di calcolo richiesta non ne permetterebbero l'utilizzo. Le altre opzioni studiate sono state o la permanenza su un punto per un certo periodo di tempo oppure il movimento attraverso una soglia lungo l'asse z (verso il display), come a simulare la pressione di un pulsante nell'aria. Poiché il tracking tridimensionale risulta molto più dispendioso da eseguire in termini di risorse computazionali, si è deciso di proseguire per la prima strada.

In seguito ad alcune prove, è stato selezionato un intervallo temporale pari a 500ms dopo il quale attivare il trigger ed effettuare quindi la conferma della posizione del puntatore. Questo intervallo permette all'utente di evitare di selezionare voci di menu o pulsanti involontariamente e allo stesso tempo non rallenta troppo la navigazione tra le varie visualizzazioni.

Inoltre, per inviare un feedback visivo all'utente del conteggio dei millisecondi necessari alla conferma dell'azione, è stata inserita un'animazione del puntatore, che formando un cerchio con un'animazione simile alle lancette di un orologio, scandirà il passare dell'intervallo temporale.

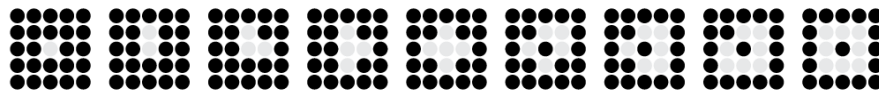


Figura 52. Vari stati successivi della raffigurazione del cursore al momento della selezione di un elemento

5.2.2.1. Implementazione del modello MoveNet

Per effettuare la *pose estimation* è stato utilizzato il modello MoveNet, un modello molto veloce ed accurato in grado di identificare 17 punti del corpo. A disposizione degli sviluppatori si trovano la versione Lighting e la versione Thunder, la prima pensata per applicazioni in cui è necessaria una bassa latenza, la seconda per applicazioni che richiedono un'alta precisione nel tracciamento. Gli sviluppatori di MoveNet affermano che entrambi i modelli sono in grado di lavorare a più di 30 fps su tutti i più comuni dispositivi di computazione.

MoveNet è basato TensorFlow.js, una libreria di machine learning in JavaScript pensata per essere eseguita direttamente su browser o in Node.js. Si tratta di una libreria opensource basata su WebGL che fornisce il framework per poter effettuare il training di reti neurali. Una delle caratteristiche che hanno portato TensorFlow ad essere così nota nel mondo dello sviluppo con reti neurali è la disponibilità di blocchi sia entry-level sia high-level, in modo da essere resa utilizzabile a qualsiasi livello.

L'uso di MoveNet in ambiente di sviluppo web è molto semplice. Per prima cosa è necessario installare attraverso NPM la libreria `@tensorflow-models/pose-detection` ed importarla nello script, oppure importare gli script necessari attraverso script tag. Sarà così possibile creare dei detector attraverso la funzione asincrona `poseDetection.createDetector()`, specificando il modello da utilizzare, nel caso di MoveNet `poseDetection.SupportedModels.MoveNet`. Creato il detector basterà passare alla funzione `detector.estimatePoses()` uno stream video, per ottenere le coordinate sul piano dei 17 keypoints, con relativo punteggio di fiducia (confidence) e nome dell'articolazione.

È possibile anche un'ulteriore personalizzazione del detector, specificando come secondo parametro della funzione `createDetector()`, una vasta gamma di configurazioni specifiche, da includere nell'oggetto `detectorConfig`, tra cui

- `modelType`, per selezionare il modello da usare, tra `Lighting`, di default (`SINGLEPOSE_LIGHTING`), `Thunder` (`SINGLEPOSE_THUNDER`) e `Multi-pose Lighting` (`MULTIPOSE_LIGHTING`) per la detection di più utenti all'interno dello stesso campo visivo
- `enableSmoothing`, per abilitare o disabilitare (default a `true`) il filtro temporale di smoothing
- `modelUrl`, per indicare un indirizzo al quale si può trovare un modello personalizzato di MoveNet
- `minPoseScore`, per stabilire una soglia minima per il punteggio di confidence sopra la quale una posa venga considerata valida
- `enableTracking`, per abilitare il tracking tra i diversi frame delle persone, alle quali viene assegnato un identificativo univoco. La configurazione e

la tipologia di tracking possono essere specificati con gli attributi `trackingConfig` e `trackingType`.

Il modello è stato implementato nello strumento di simulazione come segue, in modo da posizionare sopra lo streaming video di riferimento della videocamera, i punti corrispondenti ai keypoints tracciati dal modello. La funzione `initPoseDetection()` viene chiamata appena lo strumento viene lanciato. La funzione `detect` viene lanciata ogni 50ms, in modo da non sovraccaricare troppo il pc e allo stesso tempo permettere l'uso real time, ed una volta ricevuti i dati dal detector, disegna sopra lo streaming video della videocamera sia i keypoints sia i segmenti che formano lo "scheletro" attraverso le funzioni `drawKeypoints()` e `drawSkeleton()`, le quali ricevono come argomento un valore di *confidence* da utilizzare per filtrare i keypoint ricevuti.

La funzione `updateStage()`, infine, scatena un refresh del display flip-dot.

```
import * as poseDetection from '@tensorflow-models/pose-detection';
import AvatarStage from '../modules/AvatarStage'

const stage = ref(null)
const webcam = ref(null)
const canvas = ref(null)
let poses = null;
let poseInterval;

async function initPoseDetection() {
  const detectorConfig = { modelType:
poseDetection.movenet.modelType.MULTIPOSE_LIGHTNING };
  const detector = await
poseDetection.createDetector(poseDetection.SupportedModels.MoveNet,
detectorConfig);
  poseInterval = setInterval(() => detect(detector), 50)
}

async function detect(detector) {
  if (webcam.value.readyState === 4) {
    const video = webcam.value;
    const videoWidth = webcam.value.videoWidth;
    const videoHeight = webcam.value.videoHeight;

    // set dimensions
    webcam.value.width = videoWidth
    webcam.value.height = videoHeight

    // detections
    poses = await detector.estimatePoses(video)
    updateStage();
    drawCanvas(poses, videoWidth, videoHeight)
  }
}

function drawCanvas(poses, videoWidth, videoHeight) {
```

```

const ctx = canvas.value.getContext('2d');
canvas.value.width = videoWidth;
canvas.value.height = videoHeight;
if (mirror) canvas.value.style.transform = 'rotateY(180deg)';
poses.forEach(pose => {
  drawKeypoints(pose.keypoints, 0.5, ctx);
  drawSkeleton(pose.keypoints, 0.5, ctx);
})
}

function drawKeypoints(keypoints, minConfidence, ctx) {
  keypoints.forEach((keypoint) => {
    if (keypoint.score > minConfidence) {
      const { y, x } = keypoint;
      ctx.beginPath();
      ctx.arc(x, y, 3, 0, 2 * Math.PI);
      ctx.fillStyle = "#ff6d0a";
      ctx.fill();
    }
  })
}

const poseChain = [
  ['nose', 'left_eye'], ['left_eye', 'left_ear'], ['nose', 'right_eye'],
  ['right_eye', 'right_ear'], ['nose', 'left_shoulder'],
  ['left_shoulder', 'left_elbow'], ['left_elbow', 'left_wrist'],
  ['left_shoulder', 'left_hip'], ['left_hip', 'left_knee'],
  ['left_knee', 'left_ankle'], ['nose', 'right_shoulder'],
  ['right_shoulder', 'right_elbow'], ['right_elbow', 'right_wrist'],
  ['right_shoulder', 'right_hip'], ['right_hip', 'right_knee'],
  ['right_knee', 'right_ankle']
];

function getAdjacentKeyPoints(keypoints, minConfidence) {
  return poseChain.reduce((result, edge) => {
    const leftJoint = keypoints.filter(kp => kp.name === edge[0])[0];
    const rightJoint = keypoints.filter(kp => kp.name === edge[1])[0];
    if (leftJoint.score > minConfidence && rightJoint.score > minConfidence)
    {
      result.push([leftJoint, rightJoint]);
    }
    return result;
  }, []);
}

function drawSkeleton(keypoints, minConfidence, ctx) {
  const edges = getAdjacentKeyPoints(keypoints, minConfidence);
  edges.forEach(edge => {
    ctx.moveTo(edge[0].x, edge[0].y);
    ctx.lineTo(edge[1].x, edge[1].y);
    ctx.strokeStyle = "#ff6d0a";
    ctx.stroke();
  })
}

```

I dati di ricevuti dal detector vengono utilizzati nell'applicativo per creare una visualizzazione di avatar anche sul display flipdot ed evidenziare la posizione della mano che potrà eseguire i comandi muovendosi nello spazio. La riproduzione dell'esatta posizione dell'utente sullo schermo permette di

abbattere drasticamente l'interaction blindness poiché l'interfaccia sarà immediata, una volta vista la propria immagine riprodotta ed interpretata correttamente dal sistema. Muovendo la mano, evidenziata e differenziata rispetto alle altre parti del corpo, l'utente comprende immediatamente la possibilità di selezionare oggetti e azionare diversi comandi con il solo movimento, così come farebbe nel mondo fisico.

5.2.2.2. *Valutazioni*

Anche per il prototipo di interazione tramite *pose estimation*, si è deciso di sviluppare uno strumento per testare le capacità e la velocità di risposta del sistema. Lo strumento consiste nella creazione di cerchi nello spazio che l'utente dovrà andare a "toccare" con la mano e nei quali dovrà rimanere per il tempo necessario ad azionare il trigger di selezione. Una volta confermata la posizione all'interno del cerchio, verrà creato un nuovo cerchio in una posizione casuale dopo un intervallo di tempo casuale, e l'utente dovrà ripetere le azioni.

Dalle prove svolte, si è potuto notare che la risposta e la precisione del sistema risulta leggermente peggiore e più lenta rispetto al prototipo con controller fisico. Tuttavia, parte dell'imprecisione che spesso portava a non terminare in breve tempo la selezione dei cerchi, è dovuta alla potenza di calcolo richiesta dal sistema di deep learning per la stima della posizione delle articolazioni e da quello di rendering della simulazione, che potrebbe subire ulteriori modifiche e migliorie nell'interfacciamento con l'applicazione in modo da migliorarne le performance.

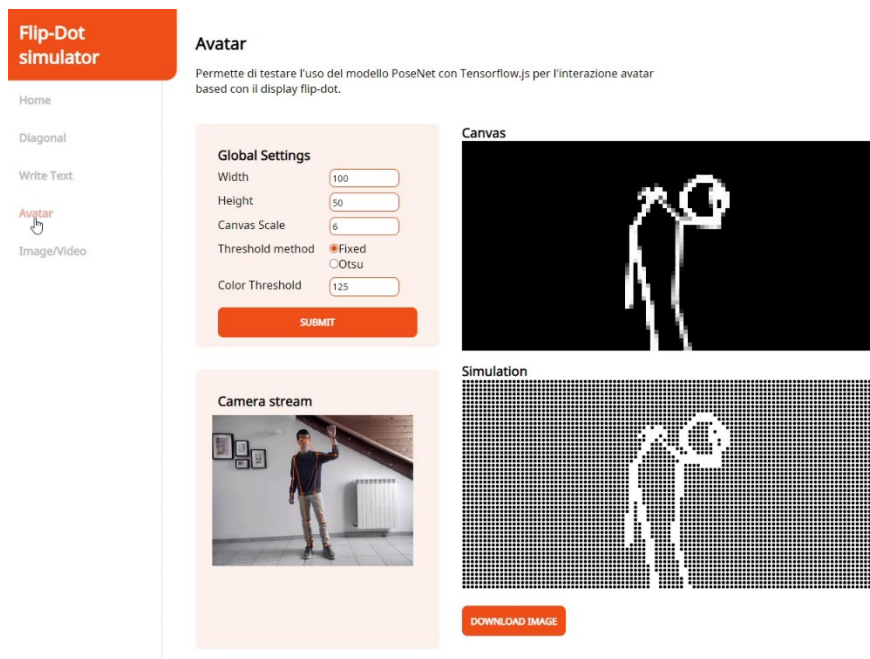


Figura 53. Interazione *avatar-based* con lo strumento sviluppato

Anche in questo caso, si ritengono soddisfatti diversi requisiti individuati per l'esplorazione visiva dei display (Jansen 2014). Con le interfacce *touchless* vengono eliminati i punti riguardanti la poca attenzione visiva e il poco ingombro visivo, poiché questa tipologia di interfaccia non fa uso di dispositivi esterni per l'interazione se non il proprio corpo e una videocamera facilmente nascondibile o integrabile all'interno del display stesso. Inoltre, vengono pienamente soddisfatti anche i requisiti di mobilità, poiché l'utente è libero e in qualche modo esortato a muoversi nello spazio.

Una grande differenza che distingue questa tipologia di interazione con la precedente è la possibilità di interagire con il display in più di una persona, caratteristica che la rende più adatta ad un contesto d'uso pubblico, senza la necessità di prevedere la produzione di un numero elevato di controller di tipo fisico. L'interazione multi-utente può essere sfruttata per scopi collaborativi, ludici, oppure per permettere l'esplorazione di uno stesso insieme di dati da parte di più persone contemporaneamente in un contesto di uso pubblico.

La mobilità degli utenti può essere sfruttata a favore di una migliore e più coinvolgente interazione con i display. Inoltre, l'interazione stessa con un sistema che incorpora le tecniche di *pose-estimation*, diventa un elemento di curiosità (Houben e Weichel, *Overcoming Interaction Blindness* 2013) in grado

di attirare un maggior numero di utenti che osservando gli utenti attivi possono allo stesso tempo possono apprendere le modalità di interazione proposte dal sistema.

Nel caso dell'interazione *avatar based* con i display flip-dot, anche l'elemento sonoro può giocare un ruolo importante a favore dell'interazione. Similmente ai pannelli flip-dot che un tempo ornavano le pareti delle stazioni ferroviarie e che creavano il classico noto suono dei dischetti che ruotano, gli utenti ora non solo possono vedere un riflesso unico in bianco e nero dei loro movimenti, ma possono anche sentire il suono che emettono i loro movimenti, grazie alla rotazione di centinaia di punti analogici. Il suono prodotto in corrispondenza, oltre ad aggiungere un elemento di interesse per l'utente, integra nell'esperienza un ulteriore senso oltre a quello della vista. In questo contesto, l'utente riceve un *feedback* di tipo visivo e sonoro ai suoi movimenti, e si sente dunque partecipe alla creazione di un'opera audiovisiva che lo coinvolge e stimola.

Conclusioni

Il presente studio si era posto l'obiettivo di esplorare ed individuare i limiti e le opportunità della visualizzazione fisica delle informazioni e delle possibilità di interazione con i display fisici.

L'analisi delle diverse metafore attribuite allo schermo ha permesso di individuare il *display* come concetto più corretto da utilizzare in riferimento allo schermo fisico, richiedendo la partecipazione attiva dell'osservatore, coinvolgendo molteplici canali sensoriali e invitando a catturare le informazioni messe a disposizione. La decomposizione del concetto di schermo nelle sue parti formanti (forma, cornice, tempo, ricezione) ha permesso di individuare l'origine dei display fisici dal punto di vista artistico, portando in esame l'evasione del concetto classico di quadro nell'arte, evidenziando i contributi delle tecniche bizantine del mosaico, il puntinismo e divisionismo di fine Ottocento e numerosi movimenti del Novecento, tra cui anche l'arte cinetica.

Studiando le idee e i principi di design dell'*embodiment*, introdotti da P. Dourish nel mondo delle HCI, è stato possibile evidenziare la natura del display fisico come elemento che pone all'attenzione degli utenti le informazioni, lasciando a questi ultimi la possibilità di rendersi partecipanti attivi all'organizzazione dell'interazione. Gli studi proposti permettono quindi di capire come la teoria e il design pratico siano saldamente connessi seppure apparentemente lontani.

Seguendo il modello della redditività economica proposto da Van Wijk, è stato possibile notare come i display cinetici possano abbattere diversi costi, presentandosi quindi allo stesso livello degli schermi classici. I *physical display* hanno la caratteristica sia di costituire un artefatto che incuriosisce lo spettatore sia di porsi ad una "distanza" molto più ravvicinata all'utente rispetto ad uno schermo virtuale tradizionale. Questa vicinanza all'utilizzatore e al mondo fisico permette, come è stato possibile vedere dall'analisi delle opere esistenti, l'utilizzo di sensori ambientali come sorgente delle informazioni visualizzate sui display.

Riguardo l'interazione con i display fisici e i relativi fenomeni di *blindness* che potrebbero occorrere in ambienti pubblici, è stata individuata la natura stessa dei display come elemento che agisce da attrattore verso lo schermo in grado di vincere la *display blindness* e le modalità di interazione *free-form* come elemento in grado di vincere l'*interaction blindness*. La scarsa risoluzione espressa come possibile limite all'inizio dell'elaborato si è rivelata essere un'opportunità per riportare sui display una quantità più esigua di informazioni in grado allo stesso tempo di essere più legata al mondo circostante e agli utenti rispetto ad uno schermo LED ad alta risoluzione. Il carattere "low-tech" e la conseguente limitata capacità informativa sono infatti un aspetto importante per l'accettazione della presenza di uno schermo nell'ambiente.

L'aspetto della visualizzazione del testo su un display flip-dot ha portato alla sperimentazione con diverse tecniche. Inizialmente si è potuto osservare come l'utilizzo dell'*hinting*, o *grid-fitting*, e di caratteri *monospaced* migliori notevolmente la resa una volta disegnate le scritte con l'utilizzo dei canvas. Risultati ancora migliori sono stati ottenuti tramite l'ideazione di due font personalizzati che sono stati progettati per essere utilizzati a determinate dimensioni fissate a priori, in modo da avere il pieno controllo su quali pixel sarebbero risultati accesi e quali spenti. Riguardo il *thresholding* delle immagini a scala di grigio per suddividere i pixel tra punti neri o colorati, sono state testate due tecniche diverse, una di sogliatura automatica globale fissa, ed una adattiva, che segue l'algoritmo di Otsu. L'implementazione di quest'ultimo ha dimostrato la netta superiorità in modo particolare nella riproduzione dei video in quanto la leggerezza computazionale dell'algoritmo permette la rivalutazione della soglia ad ogni frame, garantendo un continuo adattamento alle intensità dei pixel presenti nell'immagine. Inoltre, è stato anche proposto l'uso degli algoritmi basati su superpixel, che tuttavia necessitano di una computazione maggiore difficilmente realizzabile real-time senza rallentamenti.

Nella valutazione delle modalità di interazione con i display flip-dot sono stati presi in considerazione i principi elencati da Y. Jansen et al. Sia nell'interazione con controller fisici sia in quella *touchless*, numerosi sono i requisiti che vengono soddisfatti, tuttavia la possibilità di interazione in più persone e la più

alta mobilità degli utenti pone la tipologia *free-form* più adatta a contesti pubblici dove l'accuratezza dei movimenti non è fondamentale. Nella valutazione delle modalità di interazione con i display flip-dot sono state proposte due tipologie di interazione, la prima sfrutta un controller fisico con una disposizione ampiamente riconosciuta di tasti e joystick, mentre la seconda consiste nell'implementazione del modello PoseNet e nell'utilizzo della posizione degli arti come selettore dei pulsanti virtuali sullo schermo.

La tecnologia degli schermi fisici è presente in diversi campi da molti anni. La diffusione sempre maggiore di dispositivi intelligenti e di grandi installazioni multimediali si ritiene che possa essere di grande aiuto ad una rinascita e riscoperta dell'utilizzo di elementi reali, fisici, meccanici, per la visualizzazione di informazioni relative al mondo reale, fornendo così una valida alternativa agli ormai sempre più diffusi schermi luminosi ad altissima risoluzione, spesso troppo affollati di informazioni per risultare efficaci nella comunicazione.

Ringraziamenti

Ringrazio la mia relatrice, prof.ssa Mazali e il mio correlatore, prof. Malnati, per i loro preziosi consigli e la loro disponibilità e gentilezza.

Grazie a tutto il personale di TODO S.r.l. per avermi accolto con serenità ed entusiasmo in un ambiente così interessante e dinamico. Grazie per avermi avvicinato agli ambiti di ricerca che più mi hanno stimolato in questi mesi e, soprattutto, per avermi insegnato tanto.

Grazie a tutta la mia famiglia per essere sempre stata al mio fianco.

Grazie a tutti i miei amici per aver alleggerito i momenti più pesanti, grazie ai compagni dei mille progetti e grazie ai *cinemini* e tutti coloro che sono stati presenti in questo percorso.

Grazie ad Alice per avermi confortato quando ne avevo bisogno e per circondarmi con il suo entusiasmo.

Indice delle figure

Figura 1. IBM Pavillion al New York World's Fair, 1964. Il tema del pavilion era "Man's Achievement on a Shrinking Globe in an Expanding Universe"	9
Figura 2. Esempio di display fisico. <i>MegaFon Pavilion</i> , realizzato per le Olimpiadi invernali di Sochi del 2014. Più di diecimila attuatori erano in grado di riprodurre i volti degli spettatori, fotografate con speciali fotocamere 3D.....	12
Figura 3. Sfuggendo alla critica, Pere Borrell del Caso, Collezione Banco de España, Madrid	16
Figura 4. Coppia con le teste piene di nuvole, Salvador Dalì, 1936	17
Figura 5. Pilgrim, Robert Rauschenberg, 1960	18
Figura 6. Three Flags, Jasper Johns, Whitney Museum of American Art, 1958.....	19
Figura 7. George Seurat, Una domenica pomeriggio all'isola della Grande-Jatte, 1884 – 1886, Chicago Art Institute.....	22
Figura 8. Il famoso "smoking billboard" di Camel a Times Square in una fotografia del 1943.....	23
Figura 9. Claire Parker (sinistra) e Alexandre Alexeïeff (destra), inventori della pinscreen animation. (NFB)	28
Figura 10. Cyclograveur, Jean Tinguely, 1959.....	29
Figura 11. Traverse, BREAKFAST New York, 2021.	43
Figura 12. Brixel Mirror, prima opera creata da BREAKFAST con la tecnologia dei Brixels, 2018. "L'opera è un'esplorazione della creazione di movimenti organici a partire da forme e materiali tra i meno organici possibili".....	45
Figura 13. L'opera Thread Screen e alcune delle immagini che sono state create attraverso l'uso dell'hashtag #F21ThreadScreen.....	46
Figura 14. Spaccato di uno dei moduli che compongono lo schermo, dove è possibile vedere il nastro di tessuto con il relativo percorso e la posizione dei motori e dei lettori di posizione.....	47
Figura 15. Raphael's Pendulum, 2018, Pharma and Diagnostics Centre, Penzberg, Germania.....	50
Figura 16. L'installazione Duality a Tokyo al passaggio di un cittadino.....	53
Figura 17. L'opera Kinetic Sculpture – The Shape Of Things to Come nel momento in cui viene visualizzata la forma dell'automobile.	55
Figura 18. Wooden Mirror al Museo d'Israele, a Gerusalemme.	58
Figura 19. Esempio di immagine specchiata su Angles Mirror. Si può notare come la diversa rotazione delle lancette permetta al sistema percettivo umano di distinguere primo e secondo piano.....	60

Figura 20. Broken Red Mirror visto in posizione angolata e in posizione frontale: l'immagine scomposta sulla parete opposta viene ricomposta.	61
Figura 21. L'opera KINEIN nell'atrio della Josef-Rehrl Schule di Salisburgo.	63
Figura 22. Schema di progettazione della posizione dei motori e dei circuiti di controllo all'interno della cornice dell'installazione. Da "KINEIN: A Making Guide on Indefinitely Deploying a Kinetic Display as a Research Product"	65
Figura 23. Spaccato delle componenti hardware previste per inForm: 900 attuatori meccanici, una camera di profondità e un proiettore	66
Figura 24. Modalità di interazione di inForm. Da sinistra a destra: uno slider per la User Interface (affordance dinamiche), una conca (vincolo dinamico), e una modalità di traslazione degli oggetti	68
Figura 25. Un esempio di telepresenza in cui i due interlocutori interagiscono con un modello tridimensionale di un'automobile.	69
Figura 26. Un'immagine a lunga esposizione dello spettacolo SPAXEL, sulla riva del Danubio.	70
Figura 27. Alcuni droni dell'azienda SkyMagic pronti a decollare per uno show.	72
Figura 28. Una delle 88 figure create in occasione del Centenario del Partito Comunista Cinese il 18 Maggio 2021 a Shenzhen	75
Figura 29. Schema esplicativo dei fenomeni di blindness	86
Figura 30. Pagina 1 del brevetto di M. K. Taylor, <i>Magnetically Operated Sign</i>	103
Figura 31. Pagina 2 del brevetto di M.K. Taylor, <i>Magnetically Operated Sign</i>	104
Figura 32. Pagina 3 del brevetto di M. K. Taylor, <i>Magnetically Operated Sign</i>	105
Figura 33. Flip-dot wall nei quartieri generale della Coca Cola Company	109
Figura 34. Schema di un modulo flip-dot in posizione accesa e spenta	110
Figura 35. Grafico del ciclo di isteresi magnetica	112
Figura 36. Schema del collegamento a matrice di 9 moduli del pannello flip-dot	113
Figura 37. Circuiti stampati di un pannello flip-dot dove sono chiaramente riconoscibili i due diodi per ogni dot	114
Figura 38. Parte del circuito del controller del pannello AlfaZeta XY5 14x28 con i pin dedicati a righe e colonne della matrice in evidenza	115
Figura 39. Moduli Alfazeta XY5	117
Figura 40. Schema dei componenti hardware sul retro del display flip-dot	117
Figura 41. Esempio di schermata dello strumento di simulazione sviluppato per i test	118
Figura 42. Differenza tra i tracciati di caratteri a diverse dimensioni	121
Figura 43. Confronto tra il font Noto Sans a dimensione 15px senza grid-fitting (a) e con grid-fitting (b)	122

Figura 44. Confronto tra il font Noto Sans a dimensione 15px con diverse impostazioni: senza <i>grid-fitting</i> con <i>anti-aliasing</i> (a), con <i>grid-fitting</i> con <i>anti-aliasing</i> (b), senza <i>grid-fitting</i> senza <i>anti-aliasing</i> (c), con <i>grid-fitting</i> senza <i>anti-aliasing</i> (d)	122
Figura 45. Confronto tra simulazioni di testi disegnati su un display flip-dot al variare delle impostazioni di <i>grid-fitting</i> e <i>monospacing</i>	123
Figura 46. Confronto del carattere Noto Sans con diverse impostazioni di <i>hinting</i> , <i>monospacing</i> e soglia	124
Figura 47. I caratteri inclusi nei due font personalizzati creati per la visualizzazione dei testi su display flip-dot	125
Figura 48. Confronto tra il carattere Noto Sans Monospace con <i>grid-fitting</i> e due tipologie di carattere personalizzate	126
Figura 49. Schema del controller fisico utilizzato per i test	133
Figura 50. Schema di collegamenti per il controller fisico utilizzato	134
Figura 51. Risultato ottenuto per il controller fisico	136
Figura 52. Vari stati successivi della raffigurazione del cursore al momento della selezione di un elemento	141
Figura 53. Interazione <i>avatar-based</i> con lo strumento sviluppato	146

Bibliografia

- Andreson, Michael L. "Embodied cognition: A field guide." *Artificial Intelligence*, Settembre 2003: 91-130.
- Apollinaire, Guillaume. *Les peintres cubistes*. Berg International, 1913.
- Arnheim, Rudolf. *I baffi di Charlot. Scritti italiani sul cinema 1932-1938*. Kaplan, 2009.
- Ars Electronica Futurelab. *Spaxels: Drone shows and swarm art performances*. 2012. (accessed Gennaio 2023).
- Ball, Norman R., and John N. Vardalas. *Ferranti-Packard: Pioneers in Canadian Electrical Manufacturing*. McGill-Queen's University Press, 1994.
- . *Ferranti-Packard: Pioneers in Canadian Electrical Manufacturing*. McGill-Queen's University Press, 1994.
- Berlyne, Daniel E. *Conflict, Arousal and Curiosity*. Martino Fine Books, 2014.
- Casetti, Francesco. "Che cosa è uno schermo, oggi?" *Rivista di estetica*, 2014: 103-121.
- Clark, Andy. *Being There: Putting Brain, Body, and World Together Again*. The MIT Press, 1998.
- Csordas, Thomas J. *Embodiment and Experience: The Existential Ground of Culture and Self*. Cambridge University Press, 1995.
- Dallow, Peter. "Future Sense: Screen Metaphors in the Digital Age." *Movement 1.1*, 2014.
- de la Barré, René, Paul Chojecki, Ulrich Leiner, Lothar Mühlbach, and Detlef Ruschin. "Touchless Interaction—Novel Chances and Challenges." *HCI 2009: Human-Computer Interaction. Novel Interaction Methods and Techniques*, 2009: 161-169.
- Mindscape*. Directed by Jacques Drouin. Produced by National Film Board of Canada. 1976.
- Ebsen, Tobias. "Towards a Media Architecture." Master's Thesis, 2010.
- Economidou, Eleni, Moritz Kubesch, Alina Krischkowsky, Martin Murer, and Manfred Tscheligi. "KINEIN: A Making Guide on Indefinitely Deploying a Kinetic Display as a Research Product." *TEI '21: Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, 2021: 1-13.
- Egan, Andrew. "Billboard Empire." *Tedium*, 2021.
- Eldredge, Barbara. *History of Flip-Dots*. n.d. <https://realart.com/thought-lab/history-of-flip-dots/> (accessed Gennaio 2023).

- Engineering and Technology History Wiki. *Stock Ticker*. 2015.
https://ethw.org/Stock_Ticker (accessed 01 2023).
- Finestre sull'Arte*. 2021. <https://www.finestresullarte.info/arte-base/lucio-fontana-vita-opere-importanza-dei-tagli> (accessed 01 2023).
- Fontana, Lucio, Gianni Dova, Beniamino Joppolo, Giorgio Kaiserlian, and Antonio Tullier. "Secondo Manifesto dello Spazialismo." *Manifesto*, Milano, 1948.
- Gibson, James J. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Routledge, 1986.
- Hoggenmueller, Marius, Alexander Wiethoff, Andrew Vande Moere, and Martin Tomitsch. *A Media Architecture Approach to Designing Shared Displays for Residential Internet-of-Things Devices*. Articolo, ACM, 2018.
- Houben, Steven, and Christian Weichel. "Overcoming Interaction Blindness." Articolo, Parigi, 2013.
- Houben, Steven, and Christian Weichel. "Overcoming interaction blindness through curiosity objects." *CHI EA '13: CHI '13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 2013: 1539-1544.
- Huang, Elaine M., Anna Koster, and Jan Borchers. "Overcoming Assumptions and Uncovering Practices: When Does the Public Really Look at Public Displays?" *Pervasive 2008: Pervasive Computing*, 2008: 228-243.
- Jansen, Yvonne. "Physical and Tangible Information Visualization." Tesi di dottorato, 2014.
- Kirsh, David. "Interaction, External Representation and Sense Making." *The 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society*. 2009.
- Kroker, Arthur. "Digital Humanism: The Processed World of Marshall McLuhan." 1995.
- Lee, Bongshin, Petra Isenberg, Nathalie Henry Riche, and Sheelagh Carpendale. "Beyond Mouse and Keyboard: Expanding Design Considerations for Information Visualization Interactions." *Visualization and Computer Graphics*, 2012: 2689-2698.
- Leithinger, Daniel, Sean Follmer, Alex Olwal, and Hiroshi Ishii. "Shape Displays: Spatial Interaction with Dynamic Physical Form." *IEEE computer graphics and applications*, 2015: 5-11.
- Manovich, Lev. *The Language of New Media*. MIT Press, 2001.
- Marinetti, Filippo Tommaso. "Manifesto del Futurismo." *Manifesto*, 1909.
- Pinscreen*. Directed by Norman McLaren. Produced by National Film Board of Canada. 1973.
- McLuhan, Marshall, interview by Phillip Rogaway. *The Playboy Interview, Marshall McLuhan* (Marzo 1969).

- . *Through the Vanishing Point: Space in Poetry and Painting*. NY, Evanston, and London: Harper and Row, 1968.
- McLuhan, Marshall, and Lewis H. Lapham. *Understanding Media: The Extensions of Man*. The MIT Press, 1994.
- Moynihan, Tim. "Forget 4K: This Low-Res Screen Creates Images Out of Thread." *Wired*, Luglio 2015.
- . "Get Lost in a Display Made of Thousands of Shifting Discs." *Wired*, Dicembre 2016.
- National Museum of American History. *Stock Ticker*. n.d.
https://americanhistory.si.edu/collections/search/object/nmah_703474 (accessed 01 2023).
- Resn. *Making a connected flip-dot installation*. Luglio 2019.
<https://medium.com/resn/making-a-connected-flip-dot-installation-9116df42f71f> (accessed Gennaio 2023).
- Rozin, Daniel. *Angles Mirror*.
- Rozin, Daniel. *Broken Red Mirror*.
- Rozin, Daniel, interview by Marco Mancuso. *Daniel Rozin, lo specchio dell'anima* (Maggio 2006).
- Rozin, Daniel. *Self Centered Mirror*.
- Rozin, Daniel. *Shiny Balls Mirror*.
- Rozin, Daniel, interview by Wired Staff. *This Artist Makes Kinetic 'Mirrors' That Echo Your Movements* (Giugno 2019).
- Rozin, Daniel. *Trash Mirror*.
- Rozin, Daniel. *Wooden Mirror*. SIGGRAPH 2000: Art Gallery.
- Sauter, Joachim, interview by Adriana Ayala. *Deciphering the poetic work of ART+COM Studios* (Maggio 2020).
- Scalabroni, Luisa. "Forme e ruoli della cornice nella rappresentazione pittorica." *EC*, 2005.
- Scalabroni, Luisa. "Forme e ruoli della cornice nella rappresentazione pittorica." *EIC*, 2008.
- Steven, Rachael. "Breakfast's screen for Forever 21 displays Instagram selfies using 6,400 spools of thread." *Creative Review*, Luglio 2015.
- Szczys, Mike. *The Giant Flip-Dot Display At CES*. 2015.
<https://hackaday.com/2015/01/14/the-giant-flip-dot-display-at-ces/> (accessed Gennaio 2023).
- Taylor, Maurice K. Magnetically operated sign. United States Patent US3140553A. Luglio 14, 1964.
- van Wijk, Jarke J. "The Value of Visualization." *VIS 05. IEEE Visualization*. IEEE, 2005.

- Vande Moere, Andrew. "Beyond the Tyranny of the Pixel: Exploring the Physicality of Information Visualization." *12th International Conference Information Visualisation*. London: IEEE, 2008.
- Vande Moere, Andrew, and Stephanie Patel. "The Physical Visualization of Information: Designing Data Sculptures in an Educational Context." *Visual Information Communication*, 2009: 1-23.
- Wendt, Zach. "Art and Engineering | Brixels by BREAKFAST." *Arrow*, Gennaio 2019.
- Wilson, Margaret. "Six views of embodied cognition." *Psychonomic bulletin & review*, 2002: 625-636.
- Zolty, Andrew, interview by Tim Nudd. *Rotating Bricks Act as Pixels in This Mesmerizing Kinetic Out-of-Home Display* Muse by CLIO, (2018).