

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI SCIENZE E TECNOLOGIE

DIPARTIMENTO DI INFORMATICA
“GIOVANNI DEGLI ANTONI”



Corso di Laurea in Informatica

IOT DATA PHYSICALIZATION PER LA
TRASPARENZA: LA VIA DELLO STEAMPUNK

Relatore: Prof. Andrea Trentini

Tesi di Laurea di
Riti Armani Islam
Matr. 963069

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Indice

1	Data physicalization	1
1.1	Introduzione	1
1.2	Storia	2
1.3	Terminologie	8
1.4	IoT - Internet of Things	9
1.5	Ambiti di utilizzo	15
1.5.1	Presentazioni Data-Driven	15
1.5.2	Affluenza Sociale	16
1.5.3	Sondaggi fisici	17
1.6	Canali di comunicazione	18
1.6.1	Variabili visuali	18
1.6.2	Variabili tattili	21
1.6.3	Variabili sonore	23
1.7	I benefici della data physicalization	25
2	Steampunk	29
2.1	Descrizione	29
2.2	Uso per la divulgazione	30
2.3	Nel contesto della trasparenza	31
2.3.1	Steampunk per la data physicalization	33
3	Proof of concept – Guardiamo il mondo	36
3.1	Introduzione al Prototipo	37
3.2	Architettura e Struttura del Prototipo	38
3.3	Materiali utilizzati	38
3.4	Codice e Implementazione	40
3.5	Datasets	40
3.6	Valutazione Critica del Prototipo	43
3.7	Conclusioni	43

Sommario

La data physicalization è una vasta area di ricerca con l'obiettivo di aumentare la comprensione dei dati tramite l'aspetto e il comportamento di oggetti fisici, avendo come sfida di comunicare con i sensi umani. In combinazione con l'IoT, la quale può esser definita come estensione di internet al mondo fisico, ci permette di poter comunicare e captare in modo quasi istantaneo informazioni e dati che fin ad ora non erano accessibili comodamente. Questa combinazione aiuta molto a rendere i dati che utilizziamo tutti i giorni più trasparenti rendendo l'utente finale più consapevole. Questo aiuterebbe molto la divulgazione rendendo l'ascoltatore più partecipe dell'argomento trattato, inoltre le physicalization possono avere un'estetica di un certo tipo per attirare l'attenzione del pubblico con uno scopo principale di comunicare. La tesi con il titolo *IoT data physicalization per la trasparenza: la via dello Steampunk* cerca di spiegare le tecnologie appena discusse e di come esse cerchino di abbattere le barriere sensoriali umane, con un'introduzione che parte dalla storia della data physicalization fino ad arrivare allo stato dell'arte. A seguire troveremo una analisi sui canali di comunicazione con una maggior attenzione alla vista, tatto e udito, e di come questi accorgimenti abbiano dei notevoli benefici cognitivi. Andando poi a concentrarsi su come il dato è percepito attualmente e di come bisognerebbe muoversi per mantenere al centro di queste discussioni l'umano. Per concludere verrà discusso dell'utilizzo dello steampunk per una physicalization con in seguito la progettazione di un prototipo.

Capitolo 1

Data physicalization

1.1 Introduzione

Un oggetto ha un significato maggiore quando è connesso per un'esperienza o una conoscenza dei singoli individui, come per esempio un souvenir da un viaggio. Ritroviamo lo stesso concetto anche nella trasposizione di dati in oggetti.

La disciplina della Data physicalization è una vasta area di ricerca che ha l'obiettivo di aumentare la comprensione dei dati tramite oggetti fisici, avendo come sfida la trasformazione di dati grezzi in percezioni facilmente comprensibili e percepibili dall'umano. Jansen originariamente definì la physicalization come “un artefatto materiale la quale geometria o proprietà del materiale codifica dati”[1], tuttavia questa definizione va ad insinuare che solo le proprietà esterne dell'oggetto codificano i dati, quando nella realtà non è così, Hogan e Hornecker estendono la definizione affermando che i dati oltre ad essere codificati nella forma sono utilizzati anche per il comportamento della rappresentazione[2].

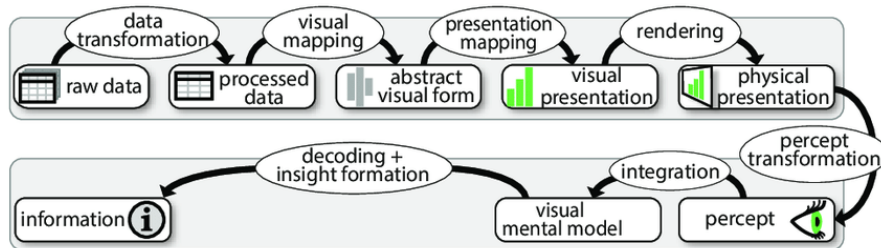


Figura 1: pipeline estesa che cattura la data physicalization[3]¹

¹Preso da: https://www.researchgate.net/figure/Extended-infovis-pipeline-that-captures-data-fig19_333429485

Dunque la disciplina della visualizzazione ha come scopo di aumentare la comprensione umana dei dati. La sfida principale della data physicalization consiste nel trovare tecniche che riescono a trasformare dati astratti in rappresentazioni facilmente percepibili e interpretabili.

I display dei computer si sono rivelati molto utili per queste tipo di mansioni, dimostrando notevoli punti di forza, come l'abilità di far visualizzare immagini ricche di dettagli e con la possibilità di esplorare i dati in modo dinamico con l'alterazione della loro rappresentazione visuale[4].

Con lo sviluppo della computazione tangibile, i quali consentono di interagire con un sistema informatico manipolando degli oggetti fisici tangibili, ci hanno permesso di capire come gli umani riescono ad interagire con informazioni digitali usando l'abilità naturale di percepire e manipolare oggetti e materiali[5, 6].

La data physicalization venne ulteriormente definita come un'area di ricerca la quale esamina come con il supporto di un computer e la rappresentazione fisica dei dati può aiutare la percezione, la comunicazione, l'apprendimento, il problem solving e il processo decisionale[7].

1.2 Storia

La data physicalization è in sviluppo dagli inizi delle civiltà. I sumeri utilizzavano dei gettoni in argilla per rappresentare dati economici [8], Gli Incas non avevano ancora sviluppato un sistema di scrittura e si basavano sui Quipu(è un insieme di cordicelle annodate, distanziate in modo sistematico tra loro) per la raccolta e lettura di dati[7].



Figura 2: Quipo nel museo di Machu Picchu, Casa Concha, Cusco²

²preso da: <https://it.wikipedia.org/wiki/Quipu>

Dagli inizi dello sviluppo tecnologico si è cercato di costruire modelli per visualizzare e comprendere sistemi complessi di dati, come per esempio il Monetary National Income Analogue Computer (MONIAC), costruito da Bill Phillips nel '49, questa rappresentazione modellava l'andamento economico della Gran Bretagna grazie a diverse taniche che nel modello rappresentavano i diversi ruoli della nazione, come le famiglie, le aziende e il governo.

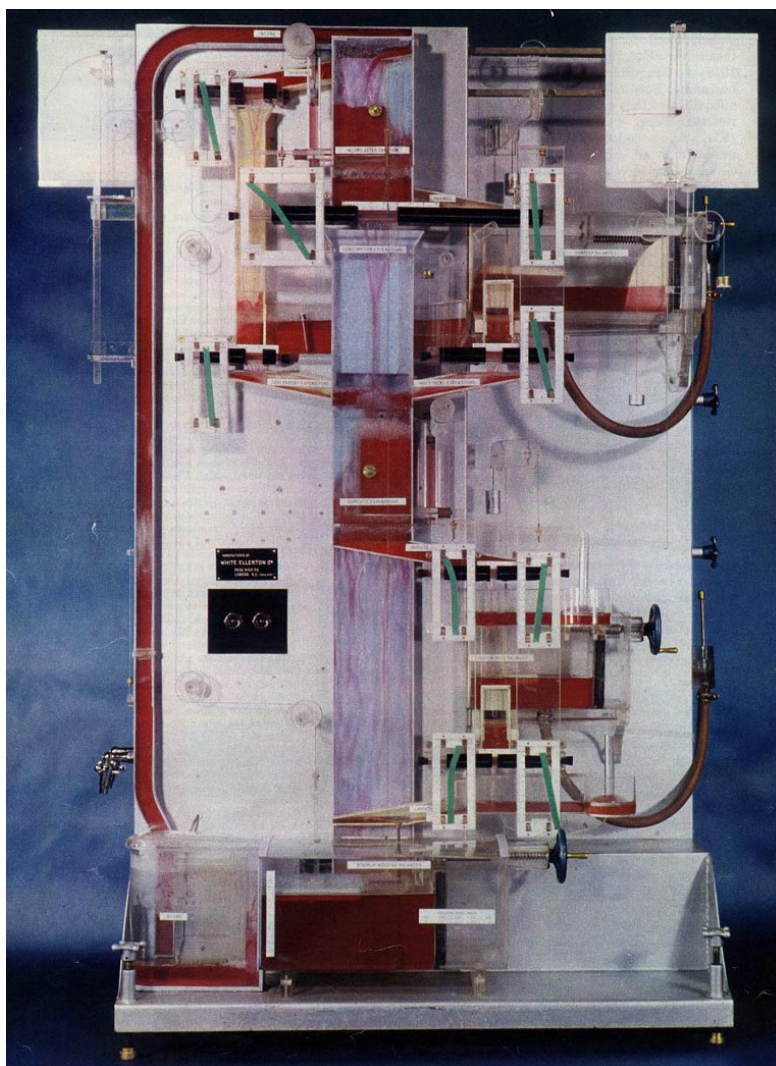


Figura 3: MONIAC, utilizzato per percepire in modo grafico l'andamento economico della gran bretagna⁴

⁴preso da: <https://www.fulltable.com/vts/f/fortune/n/m04.jpg>

Con lo sviluppo delle tecnologie e della statistica la data visualization venne applicata per la ricerca scientifica e venne estesa fino l'arte, il design e il giornalismo.

Mount fear Creato dall'artista Abigail Reynolds, il quale tramite una rappresentazione dei dati tridimensionale mostrava la frequenza e la posizione dei crimini della Londra dell'est[[physlist](#)].



Figura 4: 2003 – Mount Fear: Mappa tridimensionale della Londra dell'est che in base all'elevazione mostra il tasso di criminalità⁶

Wire model of a factory worker's hand movement Oltre la ricerca anche le industrie hanno iniziato ad utilizzare la data physicalization. Attorno al 1910 Frank Gilbreth creò una serie di rappresentazioni tramite cavi andando a mostrare il movimento delle mani dei lavoratori nelle fabbriche, così da capire come ottimizzare i macchinari o il movimento.[9]

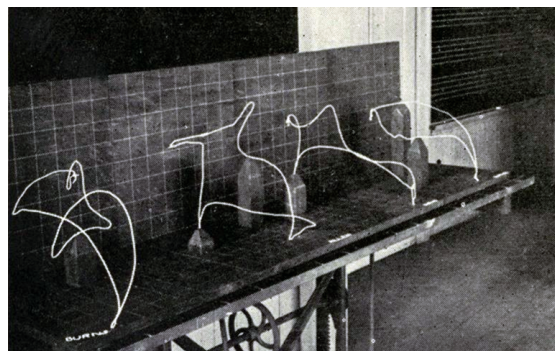


Figura 5: esposizione delle visualizzazioni fatte da Frank Gilbreth⁷

⁶preso da: <http://dataphys.org/list/mount-fear-east-london/>

Numerosi scienziati nella storia hanno utilizzato la rappresentazione tridimensionale dei loro dati in supporto alla loro ricerca, essendo un mezzo molto utile per non cadere nel tunnel vision e dunque di avere più punti di vista per lo stesso problema.

Thermodynamic Case Study Attorno agli anni '70 il farmacista James Maxwell creò un plastico tridimensionale delle funzioni termodinamiche che aiutò lui e il collega Josiah Willard Gibbs nel sviluppare la teoria termodinamica dello stato [10]

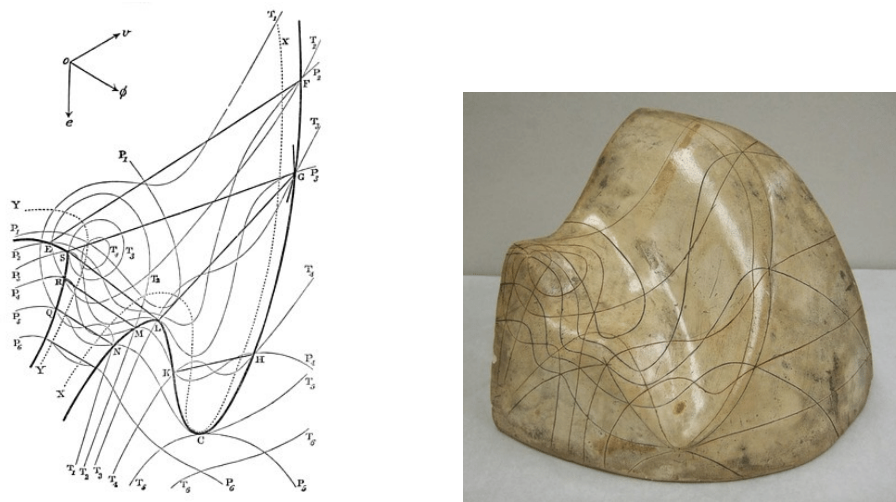


Figura 6: trasformazione dalla rappresentazione grafica alla tridimensionale⁸

Tuttavia tutte queste rappresentazioni 3D erano dispendiosi da creare e progettare a livello di tempistiche e costi. Con l'evoluzione dei computer con interfaccia grafica molte rappresentazioni sono diventate modelli virtuali, rendendo più accessibile e dinamiche le visualizzazioni, permettendo agli scienziati di fare questo tipo di analisi in modo più frequente.

Passaggio alla rappresentazione virtuale

Early Interactive Molecular Graphics Sfruttando il progetto MAC(Multi-Access Computer)[11] lo scienziato Cyrus Levinthal e i suoi colleghi svilupparono

⁷preso da: <http://dataphys.org/list/wire-models-of-factory-worker-movements/>

⁸immagini prese da: https://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell's_thermodynamic_surface#/media/File:James_Clerk_Maxwell_Thermodynamic_surface_figure_from_book.jpg e https://www.researchgate.net/figure/Fig-a-Maxwells-thermodynamic-surface-showing-the-relationship-between-energy_fig1_333429485

un programma che lavorasse con la struttura delle proteine, questo programma permetteva lo studio di piccole interazioni tra gli atomi e la “manipolazione online” della struttura delle molecole. Il tutto veniva visualizzato su un oscilloscopio monocoloro, che mostrava le strutture con un effetto a wireframe. L’effetto 3D veniva fatto tramite la rotazione costante delle strutture nello schermo, dove era presente una sfera per controllare la velocità della rotazione.[12]

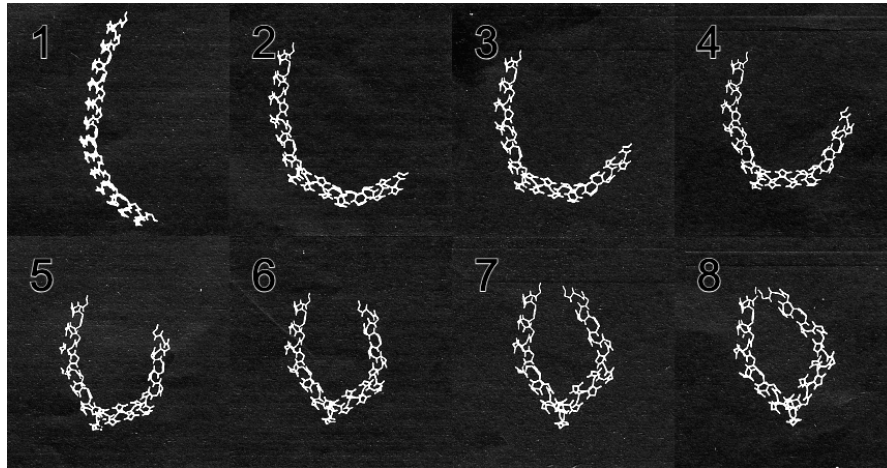


Figura 7: Esito dell’esperimento per visualizzare le molecole su un oscilloscopio⁹

⁹estrapolato da: <https://www.umass.edu/molvis/francoeur/levinthal/animation.gif>

Stato attuale della data physicalization - *STATE OF THE ART*

Con l'avanzare delle tecnologie la capacità di rappresentare informazioni mediante dispositivi elettronici o industriali è migliorata esponenzialmente, permettendoci di rappresentare sistemi più complessi e accurati.

Dunque non si è più limitati solamente a rappresentare dati in modo più semplice ed immediato, ma ci permette di rappresentare fenomeni che non sono osservabili ad occhio nudo. Avendo a nostra disposizione metodi alternativi di visualizzazione dei dati, come per esempio i **Chladin Plates**[13], i quali ci hanno permesso di visualizzare le vibrazioni di risonanza di una superficie grazie all'utilizzo della sabbia.

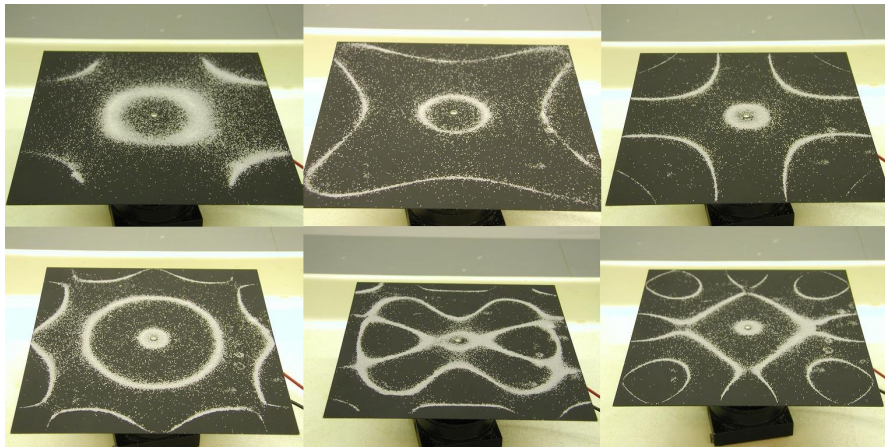


Figura 8: Piatti impiegati per visualizzare le vibrazioni di risonanza di una superficie mediante sabbia¹¹

Questa metodologia viene tutt'ora utilizzata nella progettazione di strumenti musicali. Tali tecnologie sono sfruttate anche in ambito medico, dato il parallelo sviluppo tecnologico e sanitario. Appunto condividono l'idea di sfruttare la data physicalization per rappresentare situazioni difficili da visualizzare direttamente. Come ad esempio la rappresentazione di modelli anatomici complessi, come il cervello umano (vedi in figura 9.a), il battito cardiaco come in figura 9.b oppure l'andamento cardiaco del sangue in figura 9.c.

Infine lo sviluppo industriale avvenuto negli ultimi decenni ha permesso all'intera popolazione di possedere oggetti meccanici di manifattura industriale, questo

¹¹presa da: <https://spademos.umn.edu/Chladni%20plate%20examples>

¹²presa da: Data to Physicalization: A Survey of the Physical Rendering Process - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-biological-and-medical-data-physicalizations-a-Diffusion-weighted-MRI-data_fig2_349520292 [accessed 29 Apr, 2024]

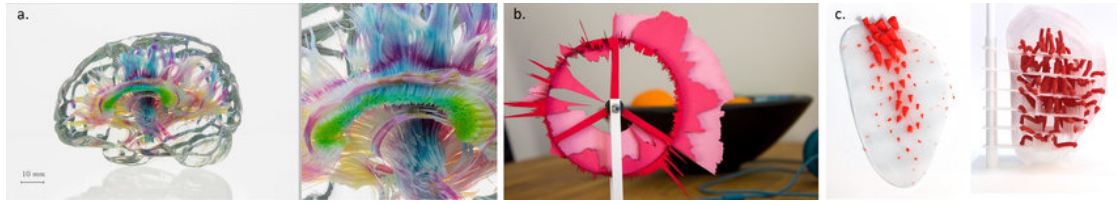


Figura 9: Esempi di data physicalization medica e biologica¹²

ha aiutato molto l'espansione della *data physicalization*. Il quale anticipa l'enorme diffusione dell'*IoT* la quale permetterà alla *data physicalization* di diffondersi ulteriormente.

Uno dei principali problemi di tutto il sistema appena descritto è il limite del canale di comunicazione attraverso il quale si trasmettono i dati trasformati in forma fisica. Appunto perché tali comunicazioni si basano sulle capacità sensoriali umane.

1.3 Terminologie

Diversi termini sono in relazione con la data physicalization come per esempio *physical artifact* la quale geometria o proprietà materiale codifica dati[1], oppure il termine *physical visualization* il quale è un sinonimo per la *data physicalization*[14].

Data sculpture fu uno dei primi termini che caratterizzò questa dominio emergente, tuttavia questo termine generalmente denota la data physicalization con uno scopo artistico[15].

Data-Object fu coniato da Gwilt[16] per riferirsi agli artefatti basati sui dati estratti da statistiche da sistemi informatici.

Inoltre esistono numerose caratteristiche che descrivono la data physicalization, I quali non riguardano solo la vista, ma anche il movimento, il tatto e le proprietà sonore[17].

È abbastanza chiaro il fatto che l'essenza della physicalization non può essere ridotta alla sola integrazioni di dati attraverso la forma, la dimensione, il peso e la *texture*.

Dunque le definizioni per la data physicalization oltre a considerare le variabili esplicite, i quali incorporano gli attributi dei dati tramite un physical artifact, bisogna anche tener conto delle proprietà o fattori che determinano come noi interagiamo con la physicalization dal punto di vista del contesto fisico e sociale.

explicit variables si intende la strategia della codifica e integrazione del dato nell'artefatto. Governa le proprietà di rappresentazione del dato, al cambiare dei valori del dataset cambia la propria rappresentazione. Dunque sono meccanismi *data-driven*, con lo scopo di approfondire i dati e avere informazioni misurabili[17]. Analizzando un artefatto, l'individuo ha l'abilità di misurare e comparare con quanta precisione la rappresentazione è accurata rispetto i dati e se soprattutto il lettore riesce a distinguere i vari dati esposti. La letteratura della data physicalization tende a utilizzare il termine *physical variables*. Questo enfatizza come le proprietà fisica debba essere distinguibile dalla percezione. Dunque le *explicit variables* sono variabili di percezione, i quali vengono percepiti grazie ai canali sensoriali, i quali vengono manifestati attraverso uno o diversi canali sensoriali[1]. Queste variabili ci permettono di capire le basi di percezioni dalle quali le *physical variables* possono essere costruite.

implicit properties invece va ad indicare un aspetto più dell'interazione, il quale non considera il dato prettamente dal punto di vista numerico. Andiamo a vedere le proprietà che vanno a legare il significato generale o la narrativa che la data physicalization stava cercando di comunicare, ma questo non va direttamente a utilizzare e codificare gli attributi del dato. Per chiarezza le *implicit properties* non necessariamente cambiano al variare dei valori del dataset. Dunque cerca di contestualizzare i dati in un modo qualitativo cercando di facilitare e arricchire l'interpretazione[18].

Un esempio che mostra come una *physicalization* riesce ad utilizzare intenzionalmente queste variabili a proprio vantaggio arricchendo l'esperienza complessiva è "Blood Swept Lands and Seas of Red", la quale rappresenta il numero di caduti britannici durante la Prima guerra mondiale tramite 882,246 papaveri in ceramica. Anche se il numero di papaveri in modo esplicito incorpora il dato, come viene presentato ricopre un ruolo fondamentale per la rappresentazione, perché è situata in un luogo dove i primi battaglioni si riunirono, questo permette di far evocare esperienze che vanno oltre alla pura visualizzazione di un dato.

1.4 IoT - Internet of Things

"The most profound technologies are those that disappear."[19]

L'IoT è un'emergente argomento sociale, tecnico ed economico molto importante, il termine "*Internet of Things*" (IoT) fu coniato da Kevin Ashton, in una presentazione nel 1999.

¹³immagine presa da: <https://www.paulcumminsceramics.com/blood-swept/>



Figura 10: Papaveri davanti alla torre dove si riunirono i primi battaglioni¹³

Interconnettendo gli oggetti che utilizziamo tutti i giorni ci permetterebbe di avere dati che fino ad ora non erano mai stati utilizzati e rilevati, in modo da avere una vasta capacità d'analisi e tecnologie di monitoraggio.

Il concetto di avere interazioni tra macchine “intelligenti” è una tecnologia all'avanguardia ma le tecnologie che formano l'*IoT* non sono niente di nuovo[20].

IoT, come ci dice il nome, è l'approccio nell'integrare rilevazioni da diverse fonti in piattaforme virtuali già esistenti nell'internet. Anche se coniato in seguito, il concetto dell'*IoT* risale fino al 1982 dove una macchinetta della Coca-Cola fu connessa ad un sistema di controllo remoto, permettendo di vedere le bibite al suo interno e la loro temperatura[21], abilitando dunque un *monitoring* di un sistema che non avrebbe avuto questa capacità.

Dunque l'idea base dell'IoT come si sarà capito è di permettere scambio autonomo di informazioni utili tra dispositivi unici incorporati in oggetti che ci circondano, informazioni captate dai sensori dei vari dispositivi e in seguito elaborate

¹⁴immagine presa da: [https://www.semanticscholar.org/paper/Internet-of-Things-\(IoT\)3A-Research-Challenges-and-Hussein/ef32bce38bf492c2b8cf067eb14cb8693501d82d/figure/0](https://www.semanticscholar.org/paper/Internet-of-Things-(IoT)3A-Research-Challenges-and-Hussein/ef32bce38bf492c2b8cf067eb14cb8693501d82d/figure/0)

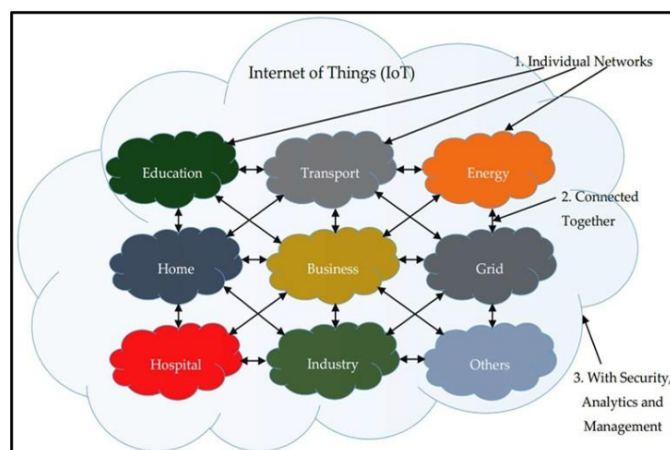


Figura 11: Possiamo vedere L'IoT come una rete di reti¹⁴

attraverso un processo decisionale il quale dipende dall'azione automatica che deve fare il dispositivo.

L'IoT è capace di interagire con la rete senza l'intervento umano, ovviamente dopo esser stato propriamente configurato, una delle prime applicazioni di questa tecnologia è avvenuta nel mondo della sanità per poi seguire i trasporti e riuscendo in poco tempo ad entrare nel mercato globale[19].

Questa tecnologia descrive la prossima generazione dell'Internet, dove gli oggetti fisici possono essere acceduti e identificati tramite la rete. In base alla necessità verranno utilizzate tecnologie e implementazioni diverse. Per permettere la riuscita di questa rete di oggetti fisici, c'è la necessità che questi oggetti possano essere distinguibili l'uno con l'altro, altrimenti si va a perdere una parte importante d'informazione, dato che i dati che avremmo a nostra disposizione molto più generici, questa identificazione univoca permette anche l'interscambio di dati tra i vari oggetti della rete.

Dunque uno dei requisiti più critici è l'interconnessione tra tutti gli oggetti nella rete. L'architettura deve garantire tutte le operazioni dell'IoT, quindi di connettere il mondo fisico con quello virtuale.

Durante la progettazione dell'architettura bisogna fare molta attenzione all'estendibilità, scalabilità e interoperabilità tra dispositivi omogenei dato che potrebbe essere che alcune cose vengono mosse nel mondo reale e c'è la necessità di interazione tra i vari dispositivi contemporaneamente.

Architettura orientata ai servizi - SoA L'architettura IoT dovrebbe esser adattiva per permettere l'interazione tra diversi dispositivi in modo dinamico e supportare comunicazioni non ambigue di eventi.

Il SoA (Service oriented architecture) tratta un sistema complesso come un insieme di semplici oggetti o sottosistemi ben definiti, questi possono essere riutilizzati o mantenuti singolarmente, questo da permettere che il software e i componenti hardware possano essere migliorati o riutilizzati in modo efficiente. Dato questi vantaggi tratti da questo tipo di architettura il SoA è applicato come architettura di punta per l'IoT.

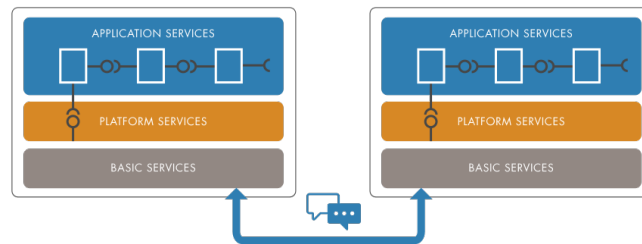


Figura 12: Come possiamo visualizzare una architettura orientata ai servizi¹⁵

I sensori Per quanto riguarda i sensori, sono parte fondamentale dell'IoT dato che permettono di interagire con l'ambiente e rilevare dati che poi verranno scambiati tra diversi dispositivi, questo per creare una rete interconnessa di dispositivi fisici. Dunque per far in modo di arrivare a tale risultato c'è la necessità di identificare in modo **univoco** un dispositivo, allora si è introdotta una identità digitale per ogni oggetto nell'IoT per permettere di tracciare e identificare facilmente i dispositivi nel dominio digitale. La tecnica utilizzata si chiama universal unique identifier.

UUID - universal unique identifier è composto da 16 byte (128 bit), nella sua forma canonica è rappresentato da 32 caratteri esadecimali suddivisi in cinque gruppi separati da trattini (-) per un totale di 36 caratteri.

Un esempio di UUID è: 27f12e3e-a76d-4f34-b9bb-fd4c841703e6.

Ci sono 16^{32} (340 282 366 920 938 500 000 000 000 000 000 000) di possibili UUID. Introducendola ci abilita ad un sistema distribuito per l'identificazione di informazioni in assenza di un sistema centralizzato per il coordinamento.

Per determinare il livello di rilevamento per un IoT bisogna considerare:

- il costo, la dimensione, le risorse e il consumo energetico, dunque bisognerebbe progettare i dispositivi intelligenti facendo attenzione a minimizzare i requisiti e il costo.

¹⁵immagine presa da: <https://it.mathworks.com/discovery/soa.html>

- la comunicazione, i sensori devono comunicare per rendere le informazioni rilevate accessibili e recuperabili.
- la connessione, le cose sono organizzate come un multi-hop, una mesh o una rete ad hoc.

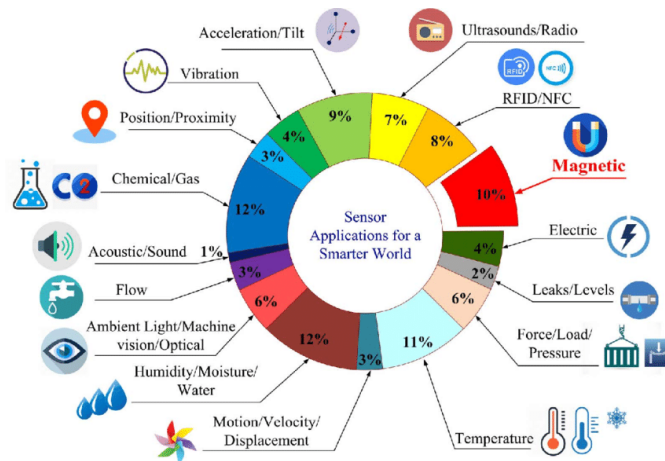


Figura 13: Applicazioni dei sensori¹⁶

Livello di rete È il livello che ci permette di connettere tutti i dispositivi e di condividere i dati con i dispositivi connessi, il quale è cruciale per gestire e processare in modo intelligente.

Un rete stabile e forte è essenziale per la condivisione e l'erogazione di un servizio da parte di un dispositivo. La rete deve inoltre scoprire e organizzare i dispositivi, assegnando ruoli automaticamente per gestire ed organizzare i comportamenti dei diversi dispositivi. Questo permette di eseguire delle mansioni in modo collaborativo e omogeneo.

Per quanto riguarda il livello di rete bisogna star attenti a diverse problematiche:

- La gestione della rete, considerando anche la manutenzione.
- I requisiti della qualità del servizio
- Tecnologie per la ricerca e l'elaborazione dei dati.

¹⁶preso da: https://www.researchgate.net/figure/Common-sensor-categories-including-magnetic-sensors-in-IoT-applications-Magnetic-sensors_fig1_334760981 [accessed 3 Apr, 2024]

- La sicurezza e la privacy, dato che L'IoT interconnette molti oggetti personali che magari rilevano informazioni private e confidenziali così da aumentare i rischi riguardanti la privacy.

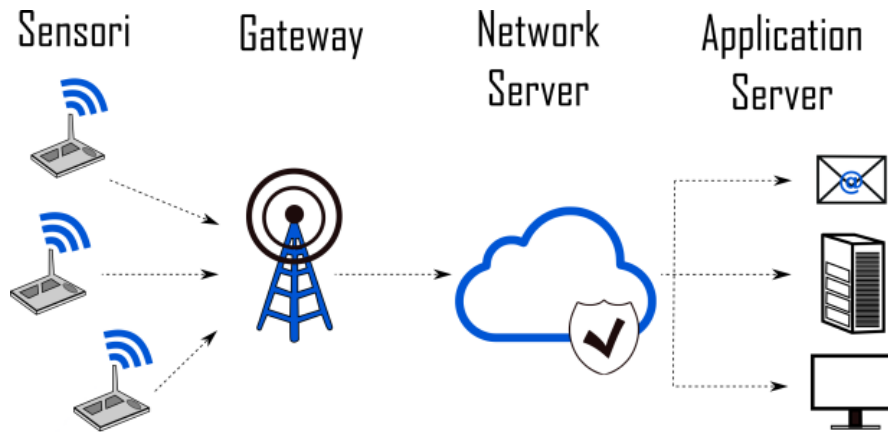


Figura 14: Applicazioni dei sensori¹⁷

I servizi Un servizio pratico consiste da un minimo insieme di applicazioni, le API(application programming interfaces) e protocolli per gestire i servizi erogati seguendo determinati standard. Tutte le attività orientate al servizio avvengono in questo livello, come per esempio lo scambio e l'immagazzinazione dei dati, la gestione dei dati, i motori di ricerca e la comunicazione. Le attività svolte da questo livello sono:

- Ricerca del servizio: La ricerca di oggetti che possono erogare il servizio ricercato in un modo efficiente.
- Composizione del servizio: permette l'interazione tra i dispositivi connessi e descrive le relazione tra di loro.
- Le API: è l'interfaccia tramite il quale gli utenti interagiscono con il servizio.

¹⁷preso da: <http://www.aeropolis.it/workshop2019>

¹⁸Internet of Things (IOT): Research Challenges and Future Applications - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: https://www.researchgate.net/figure/The-Internet-of-Nano-Things-3_fig2.334184311 [accessed 28 Mar, 2024]

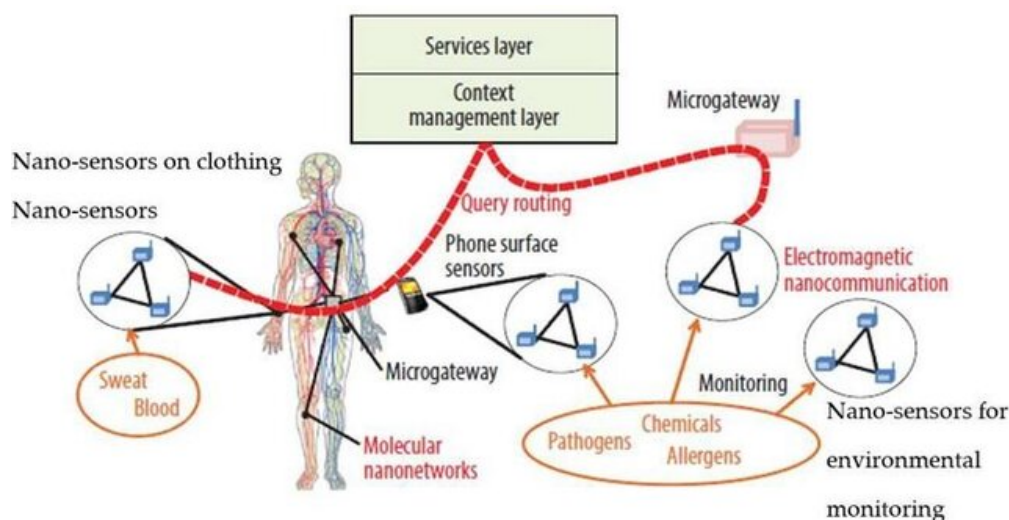


Figura 15: Tutti i passaggi fatti dai servizi¹⁸

1.5 Ambiti di utilizzo

Gli ambiti di utilizzo della data physicalization sono molteplici, di seguito vedremo alcuni ambiti di risalto.

1.5.1 Presentazioni Data-Driven

Negli ultimi anni, la rappresentazione fisica dei dati è stata un mezzo di comunicazione per delle presentazioni basate sui dati.

World development issue

Hans Rosling, un esperto sulla salute globale, utilizza oggetti fisici, spesso di tutti i giorni, per spiegare dati sui problemi dello sviluppo del mondo[22].

Un'altra forma per comunicare con una popolazione grande è quello nei musei, gallerie, o luoghi pubblici che permettono l'esposizione di installazioni basate sui dati, a differenza delle presentazioni basate sui dati è che la storia che viene raccontata dei dati necessita di essere integrata nel design dell'installazione, appunto generalmente non c'è la necessità di un presentatore che guida il pubblico a capire a pieno la rappresentazione. Spesso queste installazioni hanno uno scopo artistico ma non per questo non hanno anche uno scopo comunicativa.

²⁰immagine presa da: https://media.wired.com/photos/65e86e19bb0b06604b2ea7de/master/w_1600,c_limit/GettyImages148202584.jpg



Figura 16: Hans Rosling in una presentazione sull'impatto dell'aumento della popolazione nel mondo²⁰

1.5.2 Affluenza Sociale

Un progetto di ricerca diretto da Microsoft Research ha studiato di come l'uso di cartelle fisiche influenzasse la partecipazione nella politica locale[3]. Hanno dato dei piccoli oggetti elettronici ai cittadini e hanno installato dei grafici a torta e delle barre luminose localizzate in luoghi pubblici per attirare le persone ad osservare e discutere dei risultati dei lavori.



Figura 17: Frontale di un negozio dove vengono presentate grafici sul progetto Tenison Road²²

²² Available from: https://www.researchgate.net/figure/fig5_333429485 [accessed 10 Apr,

Come si può intuire la data physicalization si sposa bene con l'interazione umana e la divulgazione scientifica ma non solo. Appunto potrebbe abilitare a comunicare in modo più trasparente per quanto riguarda il sociale ed il pubblico, permettendo anche alla popolazione di dire la propria tramite input integrati all'interno delle physicalization.

Come possiamo vedere viene applicata in tutti gli ambiti, come ad esempio per progetti prettamente artistici come ha fatto l'artista Adrien Segal[23], trasformando i dati rilevati dai fondali marini in una opera artistica.



Figura 18: Installazione fatta dall'Artista Adrien Segal utilizzando le rilevazioni dei fondali marini²⁴

1.5.3 Sondaggi fisici

Questo progetto venne installato in un laboratorio di fabbricazione di un museo Parigino. Lo scopo era di sostituire i soliti questionari per i visitatori per raccogliere dati sulle attività svolte nel laboratorio. Dunque ogni visitatore era invitato a costruire piccole pile di lastre di legno le quali rappresentavano le diverse attività nelle quali i visitatori partecipavano, come per esempio la comprensione di una nuova abilità. Questo permette di capire quanto frequentemente un ospite visitava uno spazio del laboratorio e quanto tempo ci passava.

2024]

²⁴Preso da: <https://schmidtoccean.org/cruise-log-post/bringing-data-to-life-in-art/>



Figura 19: Tavolo del French FabLab per i questionari dei visitatori²⁵

1.6 Canali di comunicazione

Si è notato che molte delle physicalization utilizzano 3 categorie principali di *explicit variables*: visivo, tattile, sonoro.

1.6.1 Variabili visuali

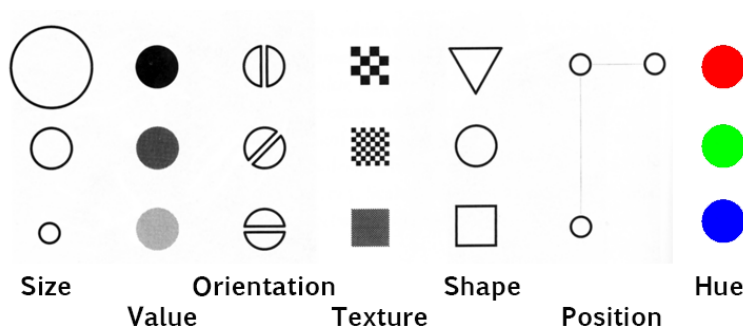


Figura 20: Categorie di variabili visuali²⁶

La percezione visuale ha il vantaggio di permettere di comunicare ad una velocità quasi immediata con un basso livello di processo cognitivo[24]. Dunque tende ad essere il modo più efficiente di rappresentazione.

²⁵preso da: http://dataphys.org/list/images/uploads/2017/08/DSC_8282-1.jpg

²⁶Preso da: <https://www.myweb.ttu.edu/tnhondan/CS5331/week07.html>

Dimensione

Essendo una variabile visuale i dati possono essere trasformati in dimensioni tramite diverse vie. Come per esempio la lunghezza, la larghezza, l'area o la ripetizione e/o dimensione di un segno. Nel caso di una rappresentazione tridimensionale anche il volume, con questi tipi di rappresentazioni riusciamo anche a comunicare tramite la profondità, lo spessore e l'altezza. Come abbiamo visto con il *Mount fear east london* dove tramite l'altezza si comunicava la frequenza di crimini violenti in una certa area della città.

Posizione

Quando nella physicalization si parla di posizione si riferisce alla posizione esatta o relativa. Per **posizione esatta** si intende la posizione dell'elemento fisico nello spazio, quindi definita tramite una coordinata di un punto $P(X, Y, Z)$.

Invece per **posizione relativa** si intende lo spazio tra gli elementi fisici della physicalization (Come ad esempio un oggetto a sinistra di 5 centimetri da un altro).

Per quanto riguarda la data physicalization la posizione esatta non è molto utile, ma quella relativa ci torna comoda per incorporare dati all'interno delle distanze tra un elemento della rappresentazione all'altro.

Forma

Si riferisce ai lineamenti esterni, indipendenti dalla grandezza che è utilizzata per rappresentare il livello di un dato attributo[25]. Le *Physicalization* hanno una forma o geometria tridimensionale, come può essere una sfera o un cubo. Le forme si suddividono in geometriche (per esempio un cerchio o un parallelepipedo) o forme più organiche ed ibride. Sono una proprietà selettiva e associativa, ma non numericamente interpretabili. La forma di un oggetto riesce a creare l'effetto di invito per diversi tipi di interazioni o manipolazione con la *physicalization*.

Orientamento

Si intende l'angolo tra le diverse entità di una *physicalization*, nella *data physicalization* può essere utilizzata in due livelli. Il primo si riferisce all'orientamento di elementi fisici in uno spazio tridimensionale, come per esempio nel *Bellum omni contra omnes* [26] (vedi figura 21) dove tramite l'orientamento di ogni elemento rappresentato da una gru il quale rappresenta i paesi mostra la direzione di attacchi informatici tra i diversi paesi.

Bisogna ricordare che pure l'orientamento dell'intera physicalization potrebbe rappresentare un dato.

²⁸Presa da: <http://paulinetemme.com/>

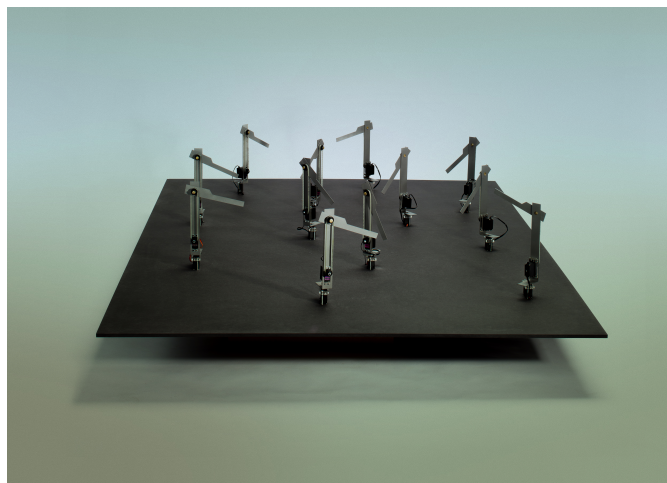


Figura 21: Rappresentazione delle gru che si muovono a secondo degli attacchi informatici²⁸

Colore

Nella *data visualization* l'incorporazione di dati con i colori avviene tramite tre distinte variabili visuali: la tinta, la luminosità e la saturazione. Le ultime due possono essere utilizzate facilmente per incorporare gli attributi dei dati, invece la tinta è più utilizzata per attributi categorici.

Movimento

Questa è un'altra variabile visuale, ed ha come interesse il cambiamento delle proprietà spaziali, relative alla posizione ed al tempo. Il movimento è caratterizzato dalla direzione, la velocità, la direzione e a volta anche la frequenza. Il movimento è diventato più fattore rilevante all'introduzione dello sviluppo di rappresentazione dinamiche. Questa variabile può essere automatizzata per dei movimenti ripetitivi o può essere inizializzata con l'interazione di un individuo con la *physicalization*.

Tempo

Si intende due elementi dinamici della data physicalization, la prima rappresenta il tempo d'esecuzione di un evento, come per esempio quando far cadere una goccia d'acqua in una rappresentazione, invece il secondo elemento dinamico è la durata effettiva di un evento. Dunque riferendoci alla rappresentazione in Figura 21 il momento in cui le gru vengono mosse dipendentemente dalla fonte degli attacchi informatici è il primo elemento dinamico del tempo.

1.6.2 Variabili tattili

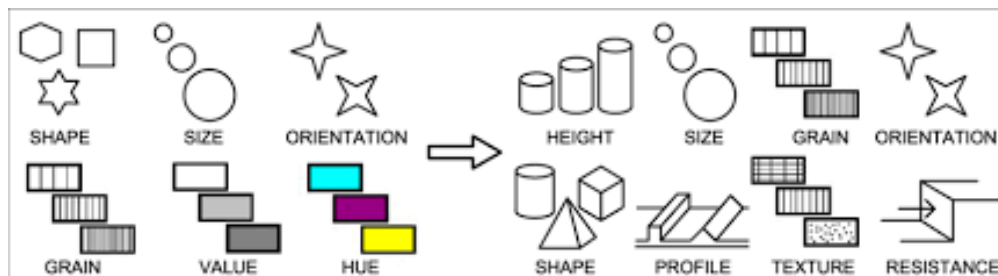


Figura 22: Da variabili visive a variabili tattili²⁹

Dato che le physicalization sono artefatti tangibili, i dati possono essere comunicati tramite le variabili tattili. Questo tipo di variabile è utilizzata poco per la data physicalization dato che è più complessa e meno intuitiva di quelle visive e sonore, fino ad ora la rappresentazione tattile dei dati viene frequentemente utilizzata per la minoranza di persone con problemi di vista (come per esempio infografiche tattili). Tuttavia c'è un grande potenziale per quanto riguarda le variabili tattili dato la ricchezza di sensori umani che potrebbero essere sfruttati.

Temperatura

Si intende l'apparente calore o freddezza di una superficie al contatto con essa, dunque all'interno della temperatura si può includere i dati tramite la temperatura oggettiva dell'artefatto o sfruttando le proprietà termiche dei materiali dell'oggetto in questione, si è notato che gli stimoli freddi sono più facili da recepire[27].

Vibrazione

L'esperienza tattile può essere indotta tramite la vibrazione, anche noto come *feedback tattile*, questo tipo di interazione si è visto molto nei cellulari. Molti ricercatori hanno studiato i pattern delle vibrazioni[28, 29] e sono riusciti a ricavare diverse variabili che possono esser utilizzate per comunicare e incorporare dati. Le variabili in questione sono: la frequenza, la durata, l'ampiezza, la forma dell'onda, il ritmo e lo spazio temporale dei pattern. Inoltre si è scoperto che le persone riescono a rilevare le vibrazione dai 5 Hertz fino ai 700 Hertz, ma in questo range non tutte le vibrazioni sono facilmente interpretabili.

Un esempio dell'uso della vibrazione per comunicare è la creazione di Hogan, il quale ha creato un bastone in legno con una forma ad Y, con il quale i visitatori

²⁹preso da: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00087041.2020.1721765>

di un osservatorio spaziale potevano puntare il bastone verso il cielo e ricevevano il livello di radiazioni, tramite le vibrazioni, del punto dello spazio puntato dal bastone[30].



Figura 23: Utilizzo della vibrazione tramite un bastone per recepire le radiazioni spaziali³¹

Texture di superficie

Si occupa delle proprietà della struttura dell'artefatto e di come comunicare dati tramite essa. La percezione tattile di una superficie richiede una esplorazione attiva, per intenderci muovere le dita su tutta la superficie, può essere utilizzata per rappresentare dati di tipo qualitativo e quantitativo. Per esempio delle carta vetrata di granularità diversa è facilmente percepibile e dunque potrebbe esser sfruttata per comunicare dati quantitativi, oppure il Braille rappresenta dati qualitativi dato che ogni pattern descrive una lettera o un pezzo d'informazione. Un'esempio di *physicalization* che utilizza la texture di una superficie per rappresentare attributi categorici è la rappresentazione che tramite diverse *texture* riesce a ricreare una linea temporale per le irritazioni mestruali[31].



Figura 24: Rappresentazione creata dall'artista I-Chen Lai³²

³¹Presa da: <http://dataphys.org/list/solar-radiation-dowsing-rod/>

1.6.3 Variabili sonore

Hanno il ruolo di *mappare* il suono ai dati tenendo in considerazione la percezione sonora umana. I suoi prodotti si suddividono in due categorie: *auditory icons* e *earcons*.

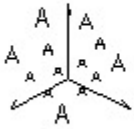


























THE ABSTRACT SOUND	VARIABLES	Nominal Data	Ordinal Data
LOCATION: The location of a sound			
LOUDNESS: The magnitude of a sound			
PITCH: The highness or lowness			
REGISTER: The relative location of a pitch in a given range of pitches			
TIMBRE: The general prevailing quality or characteristic of a sound			
DURATION: The length of time a sound is (or isn't) heard			
RATE OF CHANGE: The varying of the duration of a sound over time			
ORDER: The sequence of sounds over time			
ATTACK/DECAY: The time it takes a sound to reach its maximum/minimum			

Figura 25: Lista di variabili sonore³³

³²Preso da: <https://laiichern.com/>

³³Estratto da: <https://makingmaps.net/wp-content/uploads/2008/03/krysound.gif>

Auditory icons sono suoni che imitano suoni reali che ritroviamo negli ambienti che ci circondano come ad esempio il rumore dell'apertura di una porta all'apertura a distanza di una porta.

Earcons sono suoni brevi che rappresentano uno specifico evento o un'informazione e sono basati su suoni astratti o musicali come ad esempio una notifica alla ricezione di un messaggio.

Infine un ultimo termine è *sonification* il quale fu coniato per descrivere la rappresentazione sonora dei dati, il range della sonification va dai suoni semplici come l'impulso di un contatore Geiger o un sonar fino ad arrivare a intere composizioni musicali[32]. Una qualità del suono è che riesce a comunicare dati rimanendo in sottofondo, rendendolo molto utile per la rappresentazione di dati ambientale[33].

La ricerca ha dimostrato di come gli umani sono molto capaci nell'interpretare cambi repentini nel *timing* del suono[34]. L'udito è un senso multimodale(verrà approfondito in seguito nella tesi), permettendoci di avere il controllo su diverse variabili (come ad esempio il timbro, il volume, etc) tramite una *sonification*. Il suono essendo intrinsecamente temporale porta che le *sonification* rappresentano spesso dati di serie temporali, come ad esempio hanno fatto Gegg et al. i quali hanno rappresentato i pattern di migrazione dei salmoni tramite il suono[35].

Posizione del suono L'origine del suono in un spazio 3D può esser utilizzato sia per dati nominale che ordinali.

Tono

Si intende la dimensione fisica del suono, dunque la **frequenza**[34], il quale può esser utilizzata per dati ordinali, ed è soggetta a polarità (per esempio all'aumentare del tono indica un aumento nel dataset)[34].

Durata

è la variabile che si occupa del periodo nel quale il suono può o meno esser emanato, viene utilizzato per i dati ordinali.

Intensità del suono

È di per se ordinata, dunque si riescono a rappresentare dati ordinali, inoltre è facile da manipolare e interpretare. Come ad esempio "*Drum roll*" in figura 26. Il quale utilizza il rumore e la frequenza per rappresentare in tempo reale le radiazioni

rilevate dal *Doel Radiation Monitoring network*, rappresenta in modo metaforico la tensione di un rischio nucleare tramite il suono.



Figura 26: Le rilevazioni controllano tramite un solenoide motorizzato le bacchette, al crescere della rilevazione aumenterà la velocità e il rumore del tamburo³⁵

Timbro

Considera il carattere del suono, per intenderci come ad esempio il suono caldo del violoncello, inoltre il timbro può esser ulteriormente diversificato in base alla percezione del suono, il quale può essere affilato, duro o avere dei picchi[36].

Il suono è ancora una variabile poco esplorata per data physicalization, ma potrebbe essere un aspetto molto importante, anche se per ora l'interesse è limitato anche se ha un enorme potenziale per gli sviluppi futuri della physicalization.

1.7 I benefici della data physicalization

In questa sezione andremo a vedere come la physicalization cerca di trarre vantaggio dai canali sensoriali per comunicare una vasta range di informazioni a differenza di un semplice display.

Sfruttare abilità innate Gli umani hanno sviluppato moltissimo i propri sensi in un sistema complesso, il quale permette di estrarre in modo efficiente informazioni dal mondo[37], andremo a vedere come la physicalization riesce a sfruttare queste abilità in modo più intelligente dei classici computer o visualizzazioni.

³⁵Presa da <https://dis.acm.org/2020/gallerypage-11.html>

Che cosa è la percezione? Prima di iniziare a parlare di come la physicalization cerchi di sfruttare i canali sensoriali bisogna innanzitutto capire cosa si intende per percezione. La percezione è quel processo attraverso il quale le informazioni raccolte dagli organi di senso sono organizzate in oggetti, eventi o situazioni dotati di significato per il soggetto[38]. Bisogna stare attenti a non confonderla con le sensazioni, le quali sono gli effetti immediati del contatto dei recettori sensoriali con i segnali provenienti dall'esterno, in grado di suscitare una risposta[39].

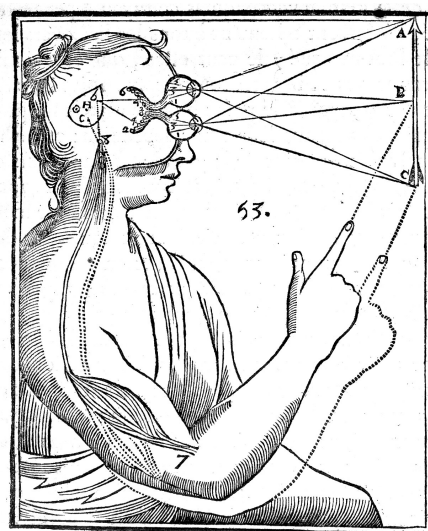


Figura 27: Secondo Cartesio, la mente prende coscienza delle percezioni sensorie tramite la ghiandola pineale³⁷

Percezione attiva Uno dei benefici principali della physicalization è l'uso migliore della percezione attiva, la percezione si è sviluppata come un processo attivo, dato che si basa molto sul controllo motorio[40], banalmente basti pensare che un oggetto fisico anche di grandezza ridotta può essere ispezionata visualmente facendola ruotare, guardandola da più vicino o smontandola. Una visualizzazione di grandezze più elevate può essere ispezionata camminandole attorno, magari avendo una percezione totalmente diversa da quello che si sarebbe visualizzato in uno schermo di un computer. Appunto una visualizzazione su uno schermo ha bisogno di supporti attivi per la percezione come per esempio dispositivi di input e output per essere “interattivo”, questo come si può immaginare porta a problemi di usabilità.

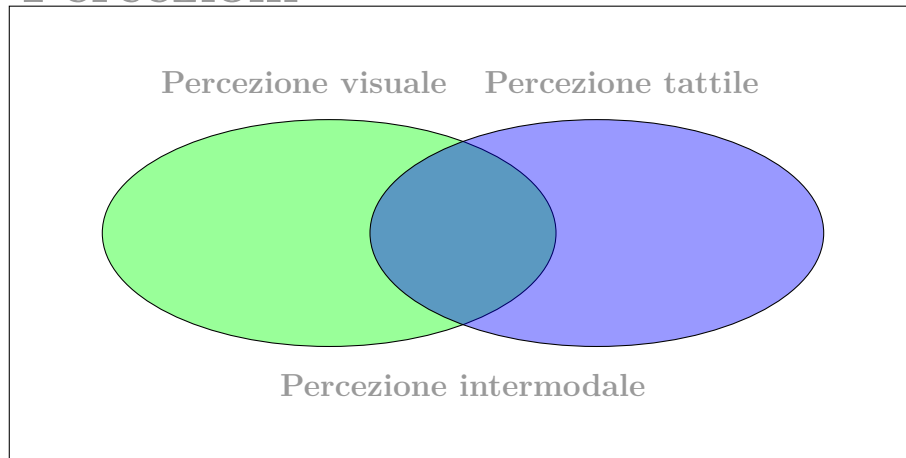
³⁷Di <https://wellcomecollection.org/works/n5dbn2qs> CC-BY-4.0, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=35981531>

Percezione di profondità Un altro beneficio della data physicalization è lo sfruttare le abilità di percezione dello spazio umano, come si può dedurre dati visualizzati in 3 dimensioni possono essere percepiti con minor fatica e più accuratezza su qualcosa di concreto a differenza di visualizzarlo su un display, il quale riuscirà tramite varie accortezze a capire il senso di profondità all'utente finale ma mai come la percezione reale[41].

Sensi non visivi La visione è un senso dominante ma non è l'unico tramite per esplorare il mondo, come abbiamo già visto toccare oggetti si rivela la percezione di molte più informazioni come per esempio la durezza, la texture, la temperatura e il peso[17]. Anche l'udito, il gusto e l'olfatto aumentano l'informazione che riusciamo a ricavare da un oggetto. Dunque tutti i sensi partecipano a una raccolta di informazioni dove ogni senso ha delle caratteristiche univoche che possono essere sfruttate dalla physicalization.

Percezione intermodale Per *percezioni intermodali* si intende la capacità del cervello umano a incanalare informazioni provenienti da diverse modalità sensoriali come l'udito, la vista, il tatto, il gusto e l'olfatto in una percezione unificata. L'idea di comunicare diversi dati a tutti i sensi è una modalità che c'è in giro già da molto tempo[42], ma ha sempre avuto un approccio *multimodale*, il quale consisteva in molteplici dispositivi d'output corrispondenti ai diversi sensi. In contrasto a questo la data physicalization cerca un approccio *intermodale* il quale riesce a garantire esperienze multisensoriali realistiche e coerenti[43]. Nell'ispezionare oggetti fisici i nostri sensi sono legati fra di loro e dipendono l'uno dall'altra, per esempio, strofinare una superficie genera un suono oltre all'informazione tattile, oppure colpire un oggetto ci permette di capire com'è fatta internamente grazie ai suoni informativi emanati dall'oggetto. Queste sono tecniche di interazione umana innate, e nessuna di esse va implementata o documentata. Ricreare questo tipo di interazione è un lavoro molto ostico e dispendioso con dispositivi d'output[44].

Percezioni



Benefici cognitivi La physicalization può avere molti benefici cognitivi e di apprendimento, dato che la rappresentazione fisica è già in grande uso nelle classi di matematica e di chimica [45, 46]. Anche se spesso non sono definibili delle vere e proprie physicalization dato che non hanno un dato al loro interno, si assume che parte dei benefici dell'educazione cognitiva verranno trasferiti alla physicalization[47].

Capitolo 2

Steampunk

2.1 Descrizione

Lo Steampunk può essere definito come un sottogenere della fantascienza dove viene utilizzata una scienza immaginaria basata sull'energia a vapore del 19esimo secolo, caratterizzata da ingranaggi e invenzioni chimeriche.

Il termine fu coniato dall'autore di fantascienza K.W. Jetter nel 1987, in una lettera al Locus magazine[48]. Oltre ad essere un'interessante fenomeno culturale, lo steampunk ci permette di avere un esempio di come ci sia una tendenza nella cultura contemporanea di ritorno al passato, fa ciò utilizzando materiali, sensazioni, tatto, rumori e dimensione tattile del tardo '900.

Lo steampunk sposa molto l'interesse delle persone nella creatività DIY (Do It Yourself) spesso molto connesse con le ideologie di rinnovazione e riciclo per preservare l'ambiente[49].



Figura 28: Oggetti steampunk, dove la chiave principale sono gli ingranaggi¹

¹Preso da: <https://cdn.shopify.com/s/files/1/0605/7689/1099/files/steampunk-object.jpg?v=1653997435>

Per rinnovazione e riutilizzo non si intende solo la riparazione dell'oggetto, si cerca di ridare vita cambiandone le funzionalità e/o ambito d'utilizzo, come ha fatto ad esempio il collega D. Busolin che ha convertito un voltmetro analogico in un sistema che riuscisse a comunicare con delle API. Le API utilizzate nel progetto presentato dopo diverse accortezze erano quelle di ATM (acronimo di Azienda Trasporti Milanesi) il quale permetteva di convertire il voltmetro in una banchina che mostra il tempo rimanente all'arrivo di uno specifico autobus.



Figura 29: Voltmetro rinnovato²

2.2 Uso per la divulgazione

‘The word paves the way for science.[50]’

La data physicalization è stata utilizzata per rappresentare in diverse forme la mole enorme di dati raccolti cercando di comunicare informazioni utili, in modo da rivelare le conseguenze a molte nostre azioni fatte nel quotidiano. Questo porta ad una riflessione personale e fa tendere le persone ad essere motivate ed influenzate dai dati, questa corrente ha come termine **quantified self**.

Ma bisogna subito capire che il self-tracking, rilevazioni di dati prettamente sull'individuo che andrà in seguito ad analizzare i risultati, possono essere estrapolati da tanti ambiti, come per esempio:

- biologico, come il sensore per monitorare la glicemia;
- fisico, come la temperatura corporea;

²Preso da: https://raw.githubusercontent.com/busolind/Tirocinio-Phys-Busolin/main/FotoVideoStrumenti/2021-06-10_14.57.58.jpg

- comportamentale, come l'analisi dell'umore;
- ambiente, come il meteo, la temperatura e la luce;

Quantified self Consiste nell'impegnarsi a tenere traccia in modo pro attivo delle informazioni dei diversi ambiti sopraelencati, cercando di cambiare il proprio comportamento, andando a sistemare le proprie azioni o abitudini in modo da sistemare le "statistiche" a proprio piacimento. Questo tipo di filosofia non ha come scopo principale la salute ma può variare da problemi patologici a migliorare le proprie capacità fisiche e mentali[51]. Non bisogna pensare che questo sia un pensiero all'avanguardia dato che gli umani hanno curiosità, pensiero critico e razionale in modo innato. Uno dei primi esempi registrati di quantified self-tracking è quello del Dottor Santorio di Padova, calcolava il consumo energetico dei viventi monitorando il peso, il consumo di cibo e i gli scarti per 30 anni nel 16-esimo secolo[52].

L'utilizzo dello **Steampunk** per questo tipo di tecnologia e filosofia potrebbe aiutare a divulgare con molta più facilità la **data physicalization** dato che oltre all'aspetto scientifico e utilitario di questa branchia di ricerca si aggiungerebbe anche una cultura artistica che potrebbe aumentare il dominio di audience raggiungibile grazie a questo sottogenere.

Inoltre come detto in precedenza lo Steampunk sposa molto il DIY e il riciclo di oggetti riportandoli in vita.

Inoltre grazie alla stampa 3D che nel tempo sta diventando sempre di più alla portata di tutti grazie alle scoperte sui materiali, le collaborazioni open-source, l'introduzione di diversi standard facilita molto l'accessibilità a questo tipo di tecnologie.

2.3 Nel contesto della trasparenza

I dati sono spesso inaccessibili per gli utenti non esperti, questo porta a una lacuna di trasparenza di dati e speculazioni nel comprendere e interpretare i dati che vengono mostrati all'utente finale, non provvedendo a conferire un valore personale ai dati[53].

Tuttavia la società è diventata fondamentalmente *data-driven*, come possiamo vedere negli algoritmi decisionali delle aziende, sistemi di raccomandazione, consumo energetico e domotica[54].

Appunto per questo c'è la necessità di sviluppare nuovi strumenti che abilitino ad esplorare ed imparare l'uso e l'importanza del dato.

Dato la crescita dell'IoT nella nostra realtà, dove gran parte degli oggetti che ci circondano quotidianamente sono dispositivi embeddeed: dalla sanità alla domotica in casa, fino ad arrivare alle smart cities[55].

Questi dispositivi principalmente raccolgono dati che riguardano o sono prodotti dagli umani, dal dato caotico che può captare una telecamera di un quartiere, fino ad arrivare al consumo energetico di una persona.

Data questa mole di dati prodotta dall'attuale contesto, bisogna porsi la domanda di capire come questi dati vanno trattati, chi ha la proprietà di questi dati e chi può avere accesso ad essi? L'HDI(Human Data Interaction) è una branchia di discussione emergente che ha come scopo di mettere l'umano al centro dell'industria dei dati, invitando la comunità IoT a trattare l'aspetto di data ownership con molta attenzione, offrendo un punto di riflessione delle sfide che l'IoT dovrà affrontare riguardando la trattazione dei dati, dato che questo andrà a indirizzare la prospettiva dell'IoT in una direzione dove l'umano è al centro.

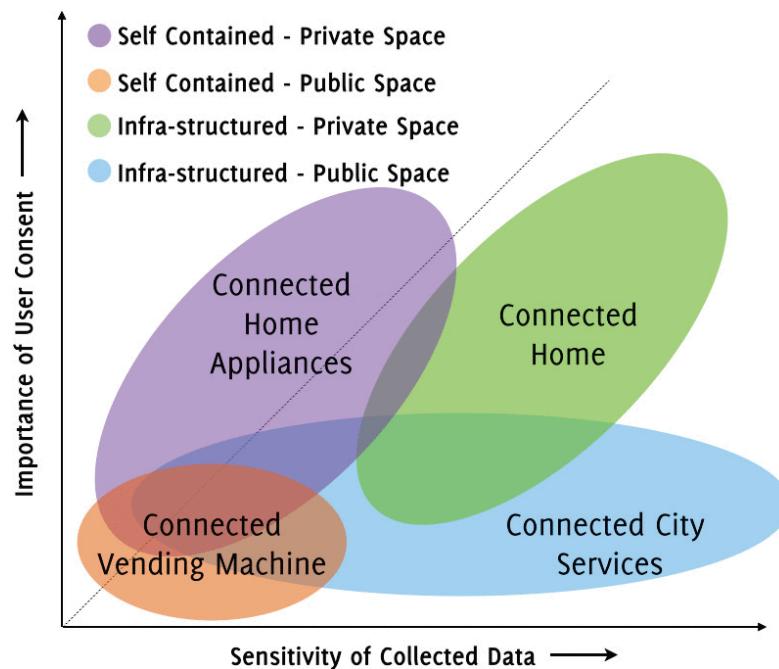


Figura 30: Piano cartesiano per visualizzare l'importanza del consenso dell'utilizzo dei dati e la sensibilità di tali dati⁴

Data ownership è il concetto con il quale ci riferiamo al controllo dei diritti di una persona sui dati raccolti, generati o utilizzati, parlando dell'*IoT* questo concetto è cruciale, dato che dispositivi interconnessi raccolgono una grossa quantità

⁴Preso da: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6803139/figures#figures>

di dati personali ed aziendali. La trasparenza diventa un punto cardine poiché i proprietari dei dati devono poter sapere chi ha accesso ai propri dati, come essi vengono trattati e con quale finalità.

Dunque la **data ownership** dovrebbe esser vista come la bilancia tra il controllo da parte degli utenti dei propri dati e la necessità che il processo di utilizzo e raccolta sia trasparente da parte degli enti che forniscono tali tecnologie.

Si è visto che questo concetto è trattato in modo diverso, si sono notati diversi modelli di *data ownership* di diversa granularità.[55]

Pay-Per-Use Model l'utente è abilitato a noleggiare un dispositivo embeddeed e paga solo l'utilizzo concreto dell'oggetto all'azienda produttrice, avendo anche a volte un guadagno economico dall'utilizzo dei dati raccolti dai vari dispositivi.

Data Market Model è una proposta dove l'utente è abilitato a condividere i propri dati personali localmente o globalmente con benefici monetari, come ad esempio un individuo può scambiare i dati prodotti da un proprio spazio personale con un'entità aziendale interessata.

Open Data Model - intention integrity Utenti ordinari hanno la capacità di accedere ai dati raccolti su di loro dai dispositivi pubblici, e che venga utilizzato solo per raggiungere solo uno scopo specifico e ben definito, qualsiasi altra intenzione o mutazione delle operazioni, dovrà prima esser approvata dall'utente.

2.3.1 Steampunk per la data physicalization

Lo Steampunk essendo un sottogenere della fantascienza come detto in precedenza, non ha una influenza sul dato mostrato ma è il mezzo tramite il quale viene comunicato, di seguito vengono portati diversi esempi di come questo sottogenere è stato utilizzato per costruire delle data physicalization.

Geiger counter

Chris Crooked-White ha costruito un contatore geiger seguendo lo stile steampunk, all'interno troviamo un raspberry Pi il quale carica sul cloud tutti i dati sulle radiazioni rilevate[56].

⁵immagini prese da: <https://hackaday.com/2020/07/10/steampunk-geiger-counter-is-a-mix-of-art-and-science/>

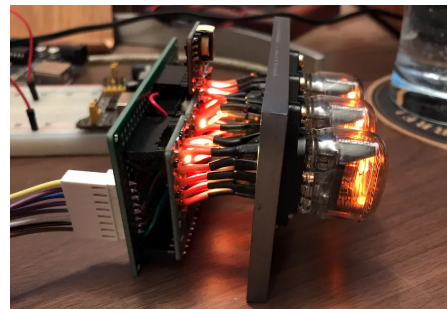
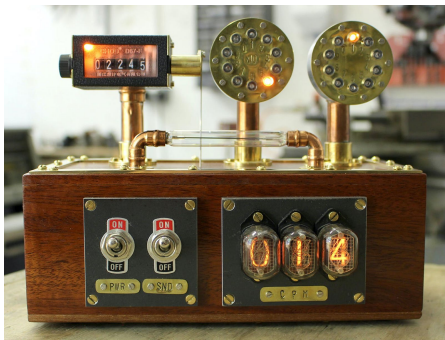


Figura 31: Contatore geiger steampunk⁵

Nixie-Steampunk hybrid solar power monitor

Pual Parry CEO di un'azienda sull'energia solare ha utilizzato un Raspberry Pi per interpretare i dati che riceveva dalla propria azienda e farli diventare un oggetto Steampunk grazie alle lampadine Nixie e l'utilizzo di due amperometri[57].



Figura 32: Prodotto finale da parte del team⁶

⁶Immagine presa da <https://hackaday.com/2016/01/10/nixie-tubes-adorn-steampunk-solar-power-meter/>

Un lampione che si accende ad ogni nato

A Bologna nell'angolo tra Piazza Nettuno e via Rizzoli, esiste un lampione che si accende ad ogni nato in simbolo del sostegno alla natalità, anche se non è Steampunk di stile apre gli orizzonti nel sfruttare oggetti vecchi ridandoli vita e significato.[58].



Figura 33: Lampione che si trova nell'angolo tra Piazza Nettuno e via Rizzoli⁷

⁷Immagine presa da <https://towerstour.com/il-lampione-dei-neonati/>

Capitolo 3

Proof of concept – Guardiamo il mondo

3.1 Introduzione al Prototipo



Figura 34: Proof of concept

Il prototipo sviluppato rappresenta un'applicazione pratica nell'ambito della *data physicalization*, una disciplina emergente che si propone di trasformare i dati digitali in rappresentazioni fisiche e tangibili. Questo approccio mira a superare i limiti delle rappresentazioni tradizionali basate su schermo, offrendo agli utenti un'esperienza immersiva. Si è voluto realizzare un prototipo, il quale è un mappamondo motorizzato in grado di rappresentare dati geolocalizzati, sfruttando la combinazione di hardware open-source e tecniche di visualizzazione non convenzionali.

L'obiettivo primario del prototipo è duplice: da un lato, fornire uno strumento educativo che consenta agli utenti di esplorare fenomeni complessi connessi a dimensioni geografiche; dall'altro, dimostrare il potenziale delle tecniche di *physicalization* per migliorare la comprensione e l'accesso ai dati. Il mappamondo rappresenta quindi un mezzo attraverso cui visualizzare relazioni tra dati, spazi e dinamiche globali in maniera diretta e intuitiva.

3.2 Architettura e Struttura del Prototipo

Il prototipo è costituito da una struttura hardware che integra componenti elettronici, meccanici e digitali. Esso si suddivide in due moduli principali:

- **Mappamondo Motorizzato:** Il mappamondo fisico, elemento centrale del prototipo, è supportato da un meccanismo motorizzato che ne consente il movimento lungo l'asse longitudinale e indica la latitudine grazie ad una striscia LED. Questo permette di evidenziare in maniera dinamica le diverse aree geografiche in corrispondenza ai dati rappresentati.
- **Sistema di Controllo:** La piattaforma *Arduino* funge da unità di controllo principale. Tramite un firmware personalizzato, Arduino gestisce il movimento del globo, garantendo la sincronizzazione tra la rappresentazione fisica e i dati di partenza.

La struttura è ottimizzata per facilitare future estensioni, consentendo l'integrazione di nuovi dataset e moduli funzionali.

3.3 Materiali utilizzati

Per la progettazione del *proof of concept* si è utilizzato:

- Arduino UNO, la parte di controllo del prototipo.
- Mappamondo, il quale è stato modificato per la riuscita del progetto.

- Servo motore SpringRC SM-S2309S, per permettere la rotazione longitudinale.
- Striscia led (da 6 celle), per la latitudine.
- Breadboard, essendo un proof of concept andare a saldare i pezzi andava a limitare le future aggiunte e modifiche del prototipo.



3.4 Codice e Implementazione

L'aspetto tecnico del prototipo si basa su un sistema di controllo implementato in linguaggio C++, utilizzato per la programmazione della piattaforma Arduino. Il linguaggio essendo object oriented permette di scrivere del codice estendibile e riutilizzabile per sviluppi o modifiche future del progetto. Una falla del prototipo è l'architettura utilizzata che non permette la connessione alla rete, dunque i dati che vengono rappresentati dal *Proof of concept* sono vecchi log di dati in tempo reale, per ovviare a questo problema la versione finale del progetto prevede l'utilizzo di un ESP32 il quale avendo una scheda di rete, ci permette di collegarci alla rete e di avere i dati in tempo reale.

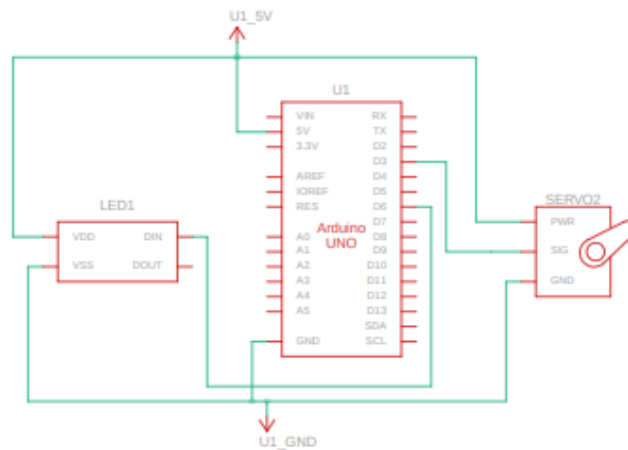


Figura 35: Circuito del prototipo

Tale implementazione consente una gestione precisa e programmabile del movimento del globo, rappresentando uno degli elementi centrali della physicalization.

3.5 Datasets

Una delle problematiche principali riscontrate sono i dati, che sono solitamente difficilmente accessibili, dunque è avvenuta una prima fase di analisi dei dati reperibili, e di come questi dati dovranno esser elaborati per la riuscita della data physicalization.

Pi-hole I dati raccolti da Pi-hole, un'applicazione pensata per bloccare le pubblicità e il tracciamento durante la navigazione in rete, sono stati utilizzati per la data physicalization del prototipo, pi-hole registra costantemente i tentativi di accesso a domini noti per le pubblicità, il tracciamento e altre attività malevole.

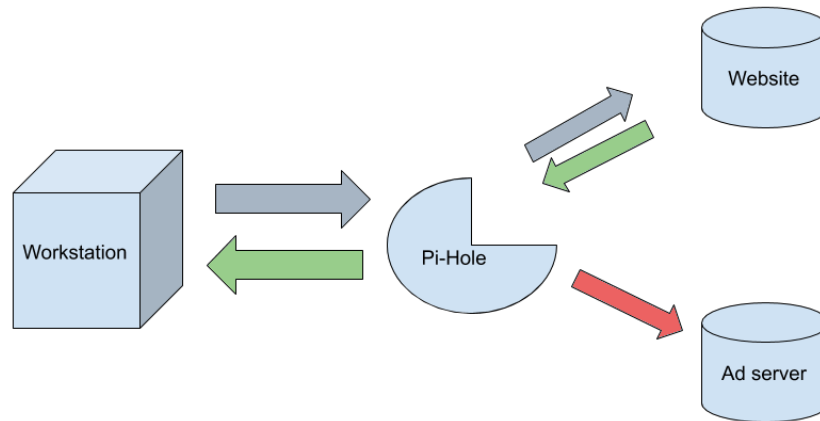


Figura 36: Come si comporta pi-hole¹

I dati ricavati vengono geolocalizzati grazie ad una API di geolocalizzazione IP, come ad esempio **ip-api**.

I dati raccolti verranno utilizzati per essere rappresentati e comunicati tramite il mappamondo motorizzato.

Un esempio di log che possiamo trovare è:

Indirizzo IP	Dominio	Status	Paese	ISP
172.217.5.110	ad.doubleclick.net	BLOCCATO	Stati Uniti	Google LLC
172.217.5.110	pagead2.googlesyndication.com	BLOCCATO	Stati Uniti	Google LLC
185.107.232.235	track.adform.net	BLOCCATO	Paesi Bassi	AS-CHOOPA
104.18.40.222	static.ads-twitter.com	BLOCCATO	Stati Uniti	Cloudflare
31.13.71.36	www.facebook.com	BLOCCATO	Stati Uniti	Facebook, Inc.
185.220.101.12	secure.flickr.com	BLOCCATO	Paesi Bassi	AS-CHOOPA

Tabella 1: Esempio di log con domini da blocklist reali

Questi log come detto in precedenza verranno geolocalizzati e un risultato che ci possiamo aspettare si può vedere nella tabella 2

¹presa da: <https://librarianbryan.github.io/>

Indirizzo IP	Latitudine	Longitudine
172.217.5.110	37.423	-122.085
185.107.232.235	52.374	4.898
31.13.71.36	37.484	-122.147
104.18.40.222	37.774	-122.419

Tabella 2: Esempio di log con geolocalizzazione IP (Latitudine e Longitudine) tramite IP-API

Questo esempio è stato portato per rendere più trasparente il mondo delle pubblicità e del tracking, cercando di rendere l'utente finale più consapevole delle dinamiche che avvengono durante la navigazione su internet.

CyberWarfare Si vuole rappresentare sul mappamondo gli attacchi informatici che avvengono costantemente nel nostro pianeta, anche se non è un'informazione direttamente legata all'utente finale, è interessante rendere consapevole della quantità di dati raccolta e di utilizzare una comunicazione alternativa di questo dato.

Per la fruizione dei dati, ci si è basati sui dati delle API di cloudflare RADAR, che permette di avere in tempo reale il traffico globale degli attacchi che avvengono nella loro rete globale, con in aggiunta dati anonimizzati dai DNS resolver pubblici di cloudflare(1.1.1.1).

I dati che riceviamo in tempo reale dal *Radar* di Cloudflare si possono vedere nella tabella 3

Tipo di Attacco	Localizzazione	Severità	IP Attaccante
DDoS (Distributed Denial of Service)	USA	Alto	192.168.45.10
SQL Injection	Europa	Medio	185.72.45.23
Phishing	Asia	Basso	203.0.113.58
Malware (Ransomware)	Africa	Alto	196.192.80.75
XSS (Cross-Site Scripting)	America Latina	Medio	190.25.34.68
Botnet	Oceania	Alto	150.14.225.40

Tabella 3: Rapporto sugli attacchi cyber in corso monitorati da Cloudflare

Questo tipo di comunicazione di dati può esser interpretata come un'installazione artistica con lo scopo di sensibilizzare la popolazione per una determinata tematica. In questo caso avendo come *dataset* gli attacchi informatici in giro per il globo ci permette di notare di come il mondo della *cybersicurezza* è totalmente interconnessa con il mondo della geopolitica, dato che i paesi che attaccano o vengono attaccati maggiormente sono i paesi in conflitto attualmente.

3.6 Valutazione Critica del Prototipo

Il prototipo del mappamondo motorizzato costituisce un esempio significativo di come la *data physicalization* possa essere applicata per migliorare la comprensione dei dati complessi. Esso combina l'aspetto visivo della rappresentazione con la possibilità di esplorare in modo diretto e tattile le informazioni.

Dal punto di vista concettuale, il prototipo offre i seguenti vantaggi:

- **Accessibilità:** La trasformazione dei dati in oggetti fisici facilita la comprensione anche per utenti privi di competenze tecniche specifiche, rendendo i dati accessibili a un pubblico più ampio.
- **Interattività:** La possibilità di manipolare fisicamente il globo e di scegliere i dataset da rappresentare rafforza l'engagement dell'utente, migliorando il processo di apprendimento.
- **Impatto Visivo e Tangibile:** La rappresentazione fisica crea un collegamento immediato e memorabile tra il dato astratto e il suo contesto reale.

3.7 Conclusioni

Il mappamondo motorizzato rappresenta una soluzione innovativa per la rappresentazione fisica dei dati geolocalizzati. L'integrazione tra tecnologia hardware e metodi di visualizzazione non tradizionali offre nuove prospettive per l'esplorazione e la comprensione dei fenomeni globali.

L'approccio sviluppato in questo progetto si presta a numerose applicazioni, sia in contesti educativi che di ricerca. Ulteriori sviluppi potrebbero includere l'implementazione di sensori in tempo reale, l'integrazione con sistemi IoT (*Internet of Things*) o l'utilizzo di tecnologie di stampa 3D per personalizzare ulteriormente il design del prototipo. Dato che il dato che si è cercato di rappresentare è geografico si riesce subito ad immaginare che esistono numerose famiglie di dati i quali vengono comunicati in modo poco chiaro e intuitivo. Dunque uno sviluppo futuro potrebbe essere trovare delle *physicalization* per le diverse famiglie di dati in modo tale da avere una vasta gamma di scelta per quando c'è la necessità di comunicare i dati in modo alternativo.

Bibliografia

- [1] Jansen et al. «Opportunities and Challenges for Data Physicalization». In: (2015). DOI: 10.1145/2702123.2702180. URL: <https://doi.org/10.1145/2702123.2702180>.
- [2] Trevor Hogan e Eva Hornecker. «How Does Representation Modality Affect User-Experience of Data Artifacts?» In: (2012). A cura di Charlotte Magnusson, Delphine Szymczak e Stephen Brewster, pp. 141–151.
- [3] Pierre Dragicevic, Yvonne Jansen e Andrew Vande Moere. «Data Physicalization». In: (apr. 2019), in press.
- [4] Stuart Card, Jock Mackinlay e Ben Shneiderman. *Readings in Information Visualization: Using Vision To Think*. Gen. 1999. ISBN: 978-1-55860-533-6.
- [5] Brygg Ullmer e Hiroshi Ishii. «Emerging frameworks for tangible user interfaces». In: *IBM Systems Journal* 39 (feb. 2000), pp. 915–931. DOI: 10.1147/sj.393.0915.
- [6] Orit Shaer e Eva Hornecker. «Tangible User Interfaces: Past, Present, and Future Directions». In: *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction* 3 (gen. 2009), pp. 1–137. DOI: 10.1561/11000000026.
- [7] Yvonne Jansen et al. «Opportunities and Challenges for Data Physicalization». In: CHI '15 (2015), pp. 3227–3236. DOI: 10.1145/2702123.2702180. URL: <https://doi.org/10.1145/2702123.2702180>.
- [8] Denise Schmandt-Besserat. «Tokens: their significance for the origin of counting and writing». In: (2014).
- [9] Frank Gilbreth. «The Chronocyclegraph». In: (). URL: https://we-make-money-not-art.com/the_chronocyclegraph/.
- [10] R.D. Kriz private communication. «Thermodynamic Case Study: Gibbs' Thermodynamic Graphical Method». In: (2007). URL: <https://esm.rkriz.net/classes/ESM4714/methods/Gibbs.html>.

- [11] Robert M. Fano. «THE PLACE OF TIME SHARING». In: (1966). URL: https://simson.net/ref/lcs_35/Fano_The_place_of_time_sharing.pdf.
- [12] Francoeur E. Martz E. «History of visualization of biological macromolecules». In: (2018). URL: <https://www.umass.edu/microbio/rasmol/history.htm>.
- [13] american history. «Chladni plates». In: (). URL: <https://americanhistory.si.edu/science/chladni.htm>.
- [14] Yvonne Jansen e Pierre Dragicevic. «An Interaction Model for Visualizations Beyond The Desktop». In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 19.12 (2013), pp. 2396–2405. DOI: 10.1109/TVCG.2013.134.
- [15] Jack Zhao e Andrew Vande Moere. «Embodiment in data sculpture: a model of the physical visualization of information». In: DIMEA '08 (2008), pp. 343–350. DOI: 10.1145/1413634.1413696. URL: <https://doi.org/10.1145/1413634.1413696>.
- [16] K. Gwilt I. Yoxall A. Sano. «Enhancing the Understanding of Statistical Data Through the Creation of Physical Objects». In: (). URL: <https://www.designsociety.org/publication/32468/Enhancing+the+Understanding+of+Statistical+Data+Through+the+Creation+of+Physical+Objects>.
- [17] Eva Hornecker. «The role of physicality in tangible and embodied interactions». In: *Interactions* 18.2 (mar. 2011), pp. 19–23. ISSN: 1072-5520. DOI: 10.1145/1925820.1925826. URL: <https://doi.org/10.1145/1925820.1925826>.
- [18] Eva Hornecker et al. «A Design Vocabulary for Data Physicalization». In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 31.1 (nov. 2023). ISSN: 1073-0516. DOI: 10.1145/3617366. URL: <https://doi.org/10.1145/3617366>.
- [19] Pradyumna Gokhale, Omkar Bhat e Sagar Bhat. «Introduction to IOT». In: *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology* 5.1 (2018), pp. 41–44.
- [20] Guicheng Shen e Bingwu Liu. «The visions, technologies, applications and security issues of Internet of Things». In: *2011 International Conference on E-Business and E-Government (ICEE)*. Mag. 2011, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICEBEG.2011.5881892.
- [21] M. Weiser. «The computer for the 21st century». In: *Scientific America* (1991).

- [22] Hans Rosling. *Global population visualization*. https://www.ted.com/speakers/hans_rosling [Accessed: (2024)]. 6 Gen. 2008.
- [23] Adrien Segal. «Bringing data to life in art». In: (22 nov. 2019). URL: <https://schmidtocean.org/cruise-log-post/bringing-data-to-life-in-art/>.
- [24] Kim Marriott et al. «Just 5 Questions: Toward a Design Framework for Immersive Analytics». In: *Immersive Analytics*. A cura di Kim Marriott et al. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 259–288. ISBN: 978-3-030-01388-2. DOI: 10.1007/978-3-030-01388-2_9. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-01388-2_9.
- [25] Mark Monmonier. In: *Annals of the Association of American Geographers* 75.4 (1985), pp. 605–609. ISSN: 00045608, 14678306. URL: <http://www.jstor.org/stable/2563117> (visitato il 27/05/2024).
- [26] Hannes Waldschütz e Eva Hornecker. «The Importance of Data Curation for Data Physicalization». In: *Companion Publication of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference*. DIS' 20 Companion. Eindhoven, Netherlands: Association for Computing Machinery, 2020, pp. 293–297. ISBN: 9781450379878. DOI: 10.1145/3393914.3395892. URL: <https://doi.org/10.1145/3393914.3395892>.
- [27] Graham Wilson et al. «Some like it hot: thermal feedback for mobile devices». In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '11. *jconf-loc*, *jcity*, Vancouver, *jcity*, *jstate*, BC, *jstate*, *jcountry*, Canada, *jcountry*, *jconf-loc*: Association for Computing Machinery, 2011, pp. 2555–2564. ISBN: 9781450302289. DOI: 10.1145/1978942.1979316. URL: <https://doi.org/10.1145/1978942.1979316>.
- [28] Richard Chen Li et al. «Introduce Floor Vibration to Virtual Reality». In: *Proceedings of the 2021 ACM Symposium on Spatial User Interaction*. SUI '21. Virtual Event, USA: Association for Computing Machinery, 2021. ISBN: 9781450390910. DOI: 10.1145/3485279.3485299. URL: <https://doi.org/10.1145/3485279.3485299>.
- [29] Shota Shiraga, Yuichiro Kinoshita e Kentaro Go. «Designing Smartphone Feedback Based on Vibration Impression». In: *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. CHI EA '16. San Jose, California, USA: Association for Computing Machinery, 2016, pp. 3190–3196. ISBN: 9781450340823. DOI: 10.1145/2851581.2892430. URL: <https://doi.org/10.1145/2851581.2892430>.

- [30] Trevor Hogan e Eva Hornecker. «In touch with space: embodying live data for tangible interaction». In: *Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction*. TEI '13. Barcelona, Spain: Association for Computing Machinery, 2013, pp. 275–278. ISBN: 9781450318983. DOI: 10.1145/2460625.2460671. URL: <https://doi.org/10.1145/2460625.2460671>.
- [31] Rosa van Koningsbruggen, Hannes Waldschütz e Eva Hornecker. «What is Data? - Exploring the Meaning of Data in Data Physicalisation Teaching». In: *Proceedings of the Sixteenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*. TEI '22. `{conf-loc}`, `{city}`Daejeon`{/city}`, `{country}`Republic of Korea`{/country}`, `{/conf-loc}`: Association for Computing Machinery, 2022. ISBN: 9781450391474. DOI: 10.1145/3490149.3501319. URL: <https://doi.org/10.1145/3490149.3501319>.
- [32] John Eacott. «Flood Tide: sonification as musical performance—an audience perspective». In: *AI & SOCIETY* 27.2 (mag. 2012), pp. 189–195. ISSN: 1435-5655. DOI: 10.1007/s00146-011-0338-2. URL: <https://doi.org/10.1007/s00146-011-0338-2>.
- [33] Keith Nesbitt. «Modelling human perception to leverage the reuse of concepts across the multi-sensory design space.» In: gen. 2006, pp. 65–74. DOI: 10.1145/1151855.1151863.
- [34] John G Neuhoff. «Perception, cognition and action in auditory displays». In: *The sonification handbook*. 2011.
- [35] Jens C. Hegg et al. «The sound of migration: exploring data sonification as a means of interpreting multivariate salmon movement datasets». In: *Heliyon* 4.2 (2018), e00532. ISSN: 2405-8440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00532>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844017317188>.
- [36] Tim Ziemer, Yi Yu e Suhua Tang. «Using Psychoacoustic Models for Sound Analysis in Music». In: ott. 2016. DOI: 10.1145/3015157.3015158.
- [37] Calvert. «The handbook of multisensory processes». In: *MIT Press* (2004).
- [38] G.B.Vicario. «Psicologia sperimentale». In: (1988).
- [39] Godino Da canestrari. «Introduzione alla psicologia generale». In: (2002).
- [40] James J. Gibson. «The Ecological Approach to Visual Perception». In: *Psychology Press* (5 dic. 2014).

- [41] Simon Stusak, Jeannette Schwarz e Andreas Butz. «Evaluating the Memorability of Physical Visualizations». In: CHI '15 (2015), pp. 3247–3250. DOI: 10.1145/2702123.2702248. URL: <https://doi.org/10.1145/2702123.2702248>.
- [42] Trevor Hogan e Eva Hornecker. «How Does Representation Modality Affect User-Experience of Data Artifacts?». In: (ago. 2012), pp. 141–151. DOI: 10.1007/978-3-642-32796-4_15.
- [43] E. S. Spelke. «The development of intermodal perception». In: *Handbook of Infant Perception*. In: *Academic Press* (1987). URL: <https://www.harvardlds.org/wp-content/uploads/2017/01/the-development-of-intermodal-perception-1.pdf>.
- [44] Johan Kildal. «Kooboh: Variable Tangible Properties in a Handheld Haptic-Illusion Box». In: (giu. 2012), pp. 191–194. DOI: 10.1007/978-3-642-31404-9_33.
- [45] F. Froebel. «the education of man». In: *A. Lovell* (1885).
- [46] Hsin-Kai Wu e Priti Shah. «Exploring visuospatial thinking in chemistry learning». In: *Science Education* 88.3 (2004), pp. 465–492. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.10126>. eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sce.10126>. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/sce.10126>.
- [47] Yvonne Jansen et al. «Opportunities and Challenges for Data Physicalization». In: CHI '15 (2015), pp. 3227–3236. DOI: 10.1145/2702123.2702180. URL: <https://doi.org/10.1145/2702123.2702180>.
- [48] steampunk hub. «what is steampunk». In: (20/06/2024). URL: <https://steampunkhub.uk/about/what-is-steampunk>.
- [49] Christine Ferguson. «Surface Tensions: Steampunk, Subculture, and the Ideology of Style». In: (5 dic. 2016).
- [50] wikipedia. «Aleksandr Afanas’evič Potebnja». In: (). URL: https://it.wikipedia.org/wiki/Aleksandr_Afanas%C2%B4evi%C4%8D_Potebnja.
- [51] Pierre Dragicevic, Yvonne Jansen e Andrew Vande Moere. «Data physicalization». In: *Handbook of human computer interaction* (2020), pp. 1–51.
- [52] Allen Neuringer. «Self-Experimentation: A Call for Change». In: *Behaviourism* 9 (gen. 1981). DOI: 10.2307/27758973.

- [53] Hans Brombacher et al. «SensorBricks: a Collaborative Tangible Sensor Toolkit to Support the Development of Data Literacy». In: TEI '24 (2024). DOI: 10.1145/3623509.3633378. URL: <https://doi.org/10.1145/3623509.3633378>.
- [54] Annika Wolff et al. «Creating an Understanding of Data Literacy for a Data-driven Society». In: *J. Community Informatics* 12 (2016). URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:8209588>.
- [55] Václav Janeček. «Ownership of personal data in the Internet of Things». In: *Computer Law & Security Review* 34.5 (2018), pp. 1039–1052. ISSN: 0267-3649. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2018.04.007>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267364918300487>.
- [56] *HackaDay steampunk geiger*. URL: <https://hackaday.com/2020/07/10/steampunk-geiger-counter-is-a-mix-of-art-and-science/> (visitato il 30/01/2024).
- [57] Dan Maloney. «NIXIE TUBES ADORN STEAMPUNK SOLAR POWER METER». In: (10 gen. 2016). URL: <https://hackaday.com/2016/01/10/nixie-tubes-adorn-steampunk-solar-power-meter/>.
- [58] bologna.online. «Il lampione dei neonati». In: (13 gen. 2021). URL: https://www.bibliotecasalaborsa.it/bolognaonline/cronologia-di-bologna/2012/il_lampione_dei_neonati.