

**Alma Mater Studiorum – Università di Bologna**

**DOTTORATO DI RICERCA IN**

**STC – Science, Cognition and Technology**

**Ciclo XXVI**

**Settore Concorsuale di afferenza: 02/D1– Fisica applicata, didattica e storia della fisica**

**Settore Scientifico disciplinare: FIS/08 – Didattica e storia della Fisica**

**TITOLO TESI**

**VISUALIZZAZIONI E RAPPRESENTAZIONI SENSORIALI  
DELLA SCIENZA NON VISIBILE**

**Presentata da: STEFANIA VARANO**

**Coordinatore Dottorato**

**Relatore**

**Prof. GIULIANO PANCALDI**

**Prof.ssa BARBARA PECORI**

**Esame finale anno 2016**

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b> .....	III
<b>Cap 1: La comunicazione scientifica attraverso le immagini</b> .....	1
<b>1. Immagini e comunicazione</b> .....	1
<b>2. Le immagini nella scienza</b> .....	10
<b>3. Visualizzare il non visibile</b> .....	22
<b>4. Contesti di utilizzo delle diverse rappresentazioni visuali</b> .....	26
<b>5. Esempi: uso e impatto delle visualizzazioni figurative (e verosimili) del non visibile</b> .....	31
<b>Conclusioni: i vantaggi dell'esplicitazione del codice</b> .....	39
<b>Cap 2: Rappresentazioni alternative o complementari a quelle visuali</b> .....	41
<b>Introduzione</b> .....	41
<b>1. Il più usato dei sensi</b> .....	41
<b>2. La scienza che non si vede</b> .....	44
<b>3. Rappresentazioni alternative a quelle visuali</b> .....	49
<b>4. Esempi in ambito scientifico</b> .....	56
<b>Conclusioni: codice arbitrario e aspetti emotivi</b> .....	66
<b>Cap 3: Il progetto e la sperimentazione</b> .....	68
<b>Introduzione</b> .....	68
<b>1. Valore informativo delle rappresentazioni</b> .....	68
<b>2. Descrizione della sperimentazione</b> .....	78
<b>3. Risultati della sperimentazione</b> .....	96
<b>Conclusioni</b> .....	99
<b>CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI</b> .....	101
<b>APPENDICE 1: Le onde radio</b> .....	i
<b>APPENDICE 2: Mappe tattili alternative alla mappa 2</b> .....	v
<b>APPENDICE 3: Software per la rappresentazione uditiva</b> .....	vii
<b>Bibliografia</b> .....	xii

## INTRODUZIONE

La visualizzazione scientifica è la resa in forma grafica o pittorica di dati, al fine di meglio comprenderli per sé e più facilmente illustrarli ad altri.

I dati visualizzati sono informazioni quantitative di diversa natura, frutto di osservazione, astrazione o calcolo, legate al sistema rappresentato. Il risultato della visualizzazione può essere un'immagine (statica) o un video (che rappresenta anche la dinamica e l'evoluzione del sistema), dai quali è possibile, osservandoli, desumere i dati che in essa sono rappresentati.

Il processo di visualizzazione presuppone (come qualsiasi processo di comunicazione) una serie di regole per la decodifica (*contratto di lettura*) dell'informazione. Normalmente questo codice è articolato, in quanto deve gestire al meglio il compromesso tra la complessità dell'oggetto rappresentato (e quindi la fedeltà di rappresentazione) e i limiti del mezzo usato per rappresentarla.

Non di rado però, il codice rappresentativo è “sottointeso”, cioè non esplicitamente dichiarato e spiegato dall'autore o non consapevolmente riconosciuto dall'utente, soprattutto nei casi in cui la rappresentazione visuale è espressamente *figurativa*, cioè imita la realtà e aspira a somigliarle.

Uno degli scopi dell'utilizzo della visualizzazione in ambito scientifico è la diffusione di un risultato, all'interno della comunità di pari, ma anche al pubblico non esperto: a volte l'estetica e la figuratività del risultato giocano un ruolo determinate.

Nei casi in cui la rappresentazione visuale ha come oggetto qualcosa di fisicamente esistente ma, per cause legate alla natura fisica dell'oggetto, inaccessibile alla vista, ci siamo chiesti se non fosse possibile, e magari anche conveniente, realizzare rappresentazioni che utilizzano altri sensi, ai fini di aggirare eventuali limiti della visualizzazione e contenere la confusione tra significante e significato.

Non ci proponiamo di costruire una rappresentazione in cui non esistano limiti e/o possibili interpretazioni fuorvianti, ma di limitare il più possibile le assunzioni inconsapevoli che si nascondono nell'uso di immagini verosimili per rappresentare il non visibile e di sperimentare le potenzialità di una rappresentazione più arbitraria e meno figurativa.

Con l'aiuto di alcuni esempi di rappresentazioni sensoriali (sia destinate all'uso da parte di soggetti non vedenti che, più in generale, alla sperimentazione sinestetica), argomenteremo come nel caso di rappresentazioni della realtà che non fanno uso esclusivo della vista o non usano modelli di visualizzazione, la corrispondenza con il contenuto informativo è quasi sempre arbitraria e cosciente nell'utilizzatore (proprio in virtù della sua scarsa figuratività). Sfrutteremo questo vantaggio per costruire una rappresentazione che presuppone una codifica chiara e un contratto di lettura "informato" e che, anche per virtù di questo, dispone di un maggior numero di parametri utili alla descrizione dell'oggetto o fenomeno rappresentato.

Ci chiediamo infatti se, a fronte di una rappresentazione consapevolmente arbitraria e senza alcuna pretesa di figuratività, si possa, almeno in parte, superare alcuni dei limiti cognitivi delle rappresentazioni visuali.

In particolare, per indagare la validità della nostra tesi, realizzeremo due tipi di rappresentazione. La prima sarà una resa in forma tattile della visualizzazione di un fenomeno invisibile (l'emissione di onde radio da parte di oggetti celesti in una regione di cielo, realizzata a partire dall'immagine 2D). La seconda rappresentazione farà uso (esclusivo o sinestetico) di tatto e udito per la rappresentazione della stessa regione di cielo, attraverso parametri tattili e uditivi arbitrari e non necessariamente corrispondenti ad analoghi visuali.

La sperimentazione sarà effettuata anche con l'aiuto di utenti non vedenti. La scelta di concentrarsi su non vedenti congeniti o acquisiti sarà discussa, in merito alla chiarezza dei risultati, per contestualizzare al meglio la risposta cognitiva e ridurre il più possibile la difficoltà di valutazione dei processi percettivi in questo tipo di prove.

# Cap 1: La comunicazione scientifica attraverso le immagini

## Il contesto in breve

Trattare di immagini in un qualsiasi ambito di (in)formazione non può prescindere da una panoramica della letteratura di ricerca sul ruolo delle immagini in contesti di comunicazione e apprendimento.

La mole vastissima di studi su questo tema così importante e trasversale è tale da intimorire anche il più tenace redattore, anche a causa della complessa interazione delle molteplici discipline coinvolte: semiotica, psicologia, neuroscienze, sociologia, scienze educative, scienze della comunicazione, e diversi altri settori di conoscenza interessati a capire come le immagini entrano nel processo di comunicazione, come è inteso il loro compito da chi le realizza e le usa, come queste arrivano a chi ne fruisce e l'effetto che queste hanno in termini di trasferimento di informazioni, conoscenza o anche solo emozioni.

Cercheremo di argomentare questa prima contestualizzazione della tesi basandoci su una ricerca bibliografica mirata, evitando il più possibile concetti dettati dal "senso comune", minato di falsi amici e fonti ignote. Sarà però imprescindibile ridurre questa veloce rassegna ai soli risultati ritenuti necessari per la definizione delle basi dell'analisi condotta in questo lavoro di tesi.

## 1. Immagini e comunicazione

### 1.1 Segni, significati e testi

Introduciamo in questo paragrafo alcuni concetti base di semiotica, concentrandoci su quelli che riteniamo di particolare interesse per la nostra analisi sull'uso delle immagini in ambito scientifico.<sup>1</sup>

La semiotica nasce, dal punto di vista accademico, negli anni '60 e '70 del secolo scorso come *teoria dei segni* (...) e si trasforma a poco a poco in una teoria del *testo* e in una metodologia di analisi dei testi<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Cfr. C. Marmo, *Segni, linguaggi e testi. Semiotica per la comunicazione*, 2014.

<sup>2</sup> Ivi, p.24.

Per cominciare, concentriamoci sul concetto di “segno”, che in prima battuta possiamo definire come “tutto ciò a cui possa essere riferito un significato”.

Per meglio comprendere questo concetto, introduciamo la definizione di *segno* introdotta da Charles S. Peirce alla fine del 1800:

Il segno, o *representamen*, è qualcosa che sta a qualcuno per qualcosa sotto qualche aspetto o capacità<sup>3</sup>.

La relazione definita da Peirce è quella tra 1) un oggetto o fenomeno che funge da *segno*; 2) il qualcosa per cui quel segno “sta” (*oggetto*) e 3) il qualcuno che lo vede come segno (*interpretante*). In merito al rapporto segno-oggetto, citiamo inoltre, perché a volte useremo queste nomenclature, l’accezione di segno secondo F. de Saussure e L. Hjelmslev. Per Saussure il segno è la relazione esistente fra due entità: quella presente (*significante*) e quella assente (*significato*). Pur con delle lievi differenze, gli stessi concetti sono, secondo Hjelmslev, *espressione e contenuto*<sup>4</sup>.

Tornando alla classificazione di Peirce, l’autore ha proposto una distinzione dei segni in tre tipi: *simbolo*, *indice*, *icona*, interessanti nel merito dell’analisi delle immagini.

Un Simbolo è un segno che si riferisce all’Oggetto che esso denota in virtù di una legge, di solito un’associazione di idee generali, che opera in modo che il Simbolo sia interpretato come riferentesi a quell’Oggetto<sup>5</sup>.

Sono tutti quei segni la cui corrispondenza con l’oggetto è regolata da una legge o una convenzione. Esempi di questa categoria di segno sono le parole, i segnali stradali, ecc.<sup>6</sup>

L’*indice* è invece:

un segno che si riferisce all’Oggetto che esso denota in virtù del fatto che è realmente determinato da quell’Oggetto<sup>7</sup>.

In questo caso si tratta di oggetti fisicamente (e non convenzionalmente) determinati. Un esempio è l’indicazione di temperatura data dal termometro, dovuta a una legge fisico/naturale che ha determinato la reazione del sensore del termometro.

Infine, l’*icona* è:

---

<sup>3</sup> C.S. Peirce, *Collected Papers (CP)*, 1903, 2.273.

<sup>4</sup> Notare che l’approccio di Saussure non è diverso solo nella nomenclatura: in questa trattazione, anziché i singoli elementi (segni), è importante la struttura, intesa come le relazioni tra gli elementi (approccio *strutturalista*).

<sup>5</sup> Ivi, 2.249.

<sup>6</sup> In realtà, gli oggetti concreti come “quella determinata parola” e “quel particolare segnale stradale” sono occorrenze (Peirce le chiama *tokens*) individuali del segno, che di per sé è astratto e generale.

<sup>7</sup> Ivi, 2.248.

un segno che si riferisce all'Oggetto che essa denota semplicemente in virtù di caratteri suoi propri (...). Una cosa qualsiasi, sia essa qualità, o individuo esistente, o legge, è un'Icona di qualcosa, nella misura in cui è simile a quella cosa ed è usata come segno di essa<sup>8</sup>.

Interessante è il concetto di *similitudine* introdotto qui, su cui torneremo nel paragrafo successivo.

Pierce distingue infine tre tipi di icone (*ipoicone*): le *immagini* “che partecipano di qualità semplici”; i *diagrammi* “che rappresentano le relazioni (...) delle parti di una cosa per mezzo di relazioni analoghe tra le proprie parti”; e le *metafore* “che rappresentano il carattere rappresentativo di un *representamen* (ovvero di un segno) mediante la rappresentazione di un parallelismo con qualcos'altro”<sup>9</sup>.

Una classificazione analoga a questa è quella che Eco fa nel testo *Semiotica e filosofia del linguaggio* del 1984, classificando i segni in sei tipi:

1. *Segni o inferenze naturali*, qualsiasi evento naturale, non per forza intenzionale, legato al suo oggetto da un rapporto di inferenza (il segno permette di desumere l'oggetto per cui sta).
2. *Segni convenzionali*, emessi con intenzione di comunicare e/o trasferire qualcosa. Secondo Eco “si presume che, perché il trasferimento abbia successo, una certa quale regola (un *codice*) abiliti sia il mittente sia il ricevente a intendere la manifestazione in uno stesso modo”.
3. *Diagrammi*, cioè “simboli” arbitrari, ma prodotti in modo da mostrare corrispondenza diretta (punto a punto) tra espressione e contenuto.
4. *Disegni*, più concreti dei diagrammi, anche se la distinzione tra i due è sottile. Entrambi sono *icone* nella classificazione di C.S. Pierce che abbiamo visto poco sopra.
5. *Emblemi*, disegni stilizzati, che potremmo chiamare comunemente *simboli* (la croce per il Cristianesimo, ad esempio), differenziandoli però dai diagrammi, perché non hanno lo stesso tipo di corrispondenza.
6. *Bersagli*, intesi come segni usare per indirizzare, istruire un'operazione<sup>10</sup>.

Un'altra distinzione che ci tornerà utile nel seguito per l'analisi delle visualizzazioni prodotte in ambito scientifico è quella fatta da Umberto Eco tra segni che indicano eventi naturali, *non prodotti intenzionalmente* (che comunque noi usiamo per riconoscere e identificare gli oggetti

---

<sup>8</sup> Ivi, 2.247.

<sup>9</sup> Ivi, 2.277.

<sup>10</sup> U. Eco, *Semiotica e filosofia del linguaggio*, 1984.

che essi rappresentano) e, dall'altra parte, segni prodotti artificialmente e posti *convenzionalmente* da esseri umani per comunicare con altri esseri umani<sup>11</sup>.

A proposito di questo, abbiamo detto all'inizio che la semiotica si è nel tempo trasformata da "teoria dei segni" in "metodologia per l'analisi dei testi".

Possiamo, in termini semplici, considerare quindi i testi come oggetti, eventi, messaggi (che di per sé possono essere considerati segni) strutturati in modo complesso (cioè attraverso un linguaggio specifico e definibile), con l'intento di comunicare qualcosa.

Come ultima classificazione di questa prima parte, introduciamo quella dei diversi tipi di testo in base ai linguaggi (o codici) di cui in essi si fa prevalentemente uso<sup>12</sup>:

1. testi *verbali*, in cui il linguaggio prevalente è quello *linguistico* (si tratta di ciò che comunemente va sotto il nome di *testo*).
2. testi *figurativi*, in cui il linguaggio prevalente è quello che si connette alla nostra capacità di riconoscere figure del mondo per via percettiva; non si tratta solo di testi "visibili", ma anche eventualmente "udibili" o "tattili" (...).
3. testi *plastici*, in cui il linguaggio plastico distinto rispetto a quello figurativo ha la preminenza come piano dell'espressione di contenuti autonomi e indipendenti dal figurativo (...)
4. testi *sincretici*, in cui più linguaggi eterogenei convergono nel costruire il testo.

Di queste distinzioni ci serviremo largamente nella nostra caratterizzazione delle immagini usate in ambito scientifico per mostrare o rappresentare (a sé stessi e/o agli altri) i risultati di ricerche e scoperte. Occorre però mettere un po' di ordine, per caratterizzare in modo univoco le nomenclature che useremo nella nostra analisi.

Per i nostri scopi, le ipicone di Pierce immagini e diagrammi corrisponderanno in modo quasi esatto, rispettivamente, a disegni e diagrammi della classificazione di Eco. Considereremo tutte come *testi figurativi*, in cui c'è maggiore o minore *figuratività* o *astrazione*, intesa anche come *arbitrarietà*<sup>13</sup> di rappresentazione.

Un caso a parte saranno quelle rappresentazioni che non hanno intento figurativo e possono essere interpretate da un ipotetico lettore come testi *plastici*, con le tre componenti: "topologica" (spaziale), "eidetica" (delle linee), cromatica (cioè dei colori e/o dei chiaroscuri).

---

<sup>11</sup> U. Eco, *Segno*, 1973.

<sup>12</sup> Cfr. C. Marmo, *cit.*, p.198.

<sup>13</sup> Intendiamo l'*arbitrarietà* come *assenza di motivazione* nel rapporto tra piano dell'espressione e piano del contenuto (cfr. F. De Saussure, 1922 e L. Hjelmslev, 1943).



## 1.2 Somiglianza e figuratività

Le immagini che noi analizzeremo sono principalmente<sup>14</sup> *testi figurativi*, cioè testi il cui linguaggio (codice) prevalente è quello figurativo. Il codice (inteso come rapporto di corrispondenza tra segno e oggetto) utilizzato per la costruzione dell'immagine è la somiglianza con l'oggetto rappresentato.

In merito a quest'ultimo punto, vale la pena esporre brevemente il *dibattito sull'iconismo* che si è sviluppato tra gli anni '60 e '70 e che vedeva contrapposti da una parte gli *iconisti* e dall'altra gli *iconoclasti*, tra i quali Eco e altri semiologi. Il nucleo sostanziale del dibattito è il *rapporto di somiglianza* tra immagine e oggetto rappresentato, introdotto da Peirce nella sua definizione di *icona*. Mentre gli iconisti sostenevano che tale rapporto è *naturale*, gli iconoclasti sottolineavano invece la sua componente *culturale* e *convenzionale*, “per cui la somiglianza veniva concepita come *posta* e non come *data*”<sup>15</sup>. Secondo lo stesso Peirce, l'immagine rappresenta il proprio oggetto per somiglianza ma è anche largamente convenzionale, nel senso che:

il suo creatore seleziona solo alcuni aspetti dell'oggetto (colori e disposizioni dei colori, forme) per rappresentarlo<sup>16</sup>.

Anche Umberto Eco, nel *Trattato di Semiotica generale* afferma che il concetto di similitudine necessariamente prevede che alcune caratteristiche di una rappresentazione siano trascurate rispetto ad altre ritenute invece pertinenti a mostrare la “somiglianza”. Secondo Eco quindi “i segni iconici non hanno le *stesse* proprietà fisiche dell'oggetto, ma stimolano una struttura percettiva 'simile' a quella che sarebbe stimolata dall'oggetto imitato”<sup>17</sup>.

Pertanto:

Una *convenzione grafica* autorizza a *trasformare* sulla carta gli elementi schematici di una convenzione percettiva o concettuale che ha motivato il segno. [...] L'immagine è motivata dalla rappresentazione astratta [...], ma è al tempo stesso effetto di una decisione culturale e come tale richiede una percezione addestrata per essere percepita come immagine di quell'oggetto<sup>18</sup>.

Negli anni '90, Eco rivedrà leggermente questa posizione, convenendo che, almeno parzialmente i *significanti* iconici (segni, icone) abbiano qualche legame in qualche modo

---

<sup>14</sup> Con alcune eccezioni, come vedremo, che possono essere considerati testi più *plastici*.

<sup>15</sup> C. Marmo, *cit.*, p.34.

<sup>16</sup> C.S. Peirce, *CP*, 2.276.

<sup>17</sup> Umberto Eco, *Trattato di semiotica generale*, 1975, p.258.

<sup>18</sup> Ivi, p.258-259.

naturale con i loro *significati* (oggetti rappresentati), cioè siano *motivati* dai loro significati, pur rimanendo in larga parte culturalmente e convenzionalmente denotati.

Le operazioni di riconoscimento si basano su schemi visivi mentali degli oggetti del mondo (i *tipi cognitivi*) che noi abbiamo precedentemente creato. Quando vediamo qualcosa confrontiamo il suo aspetto visivo con i tipi cognitivi che abbiamo in memoria, fino a quando non troviamo quello più coincidente e abbiamo il riconoscimento. [...] Ma alcune volte, per avere una piena comprensione di ciò che l'immagine rappresenta, dobbiamo applicare alcune regole di trasformazione che sono convenzionali e quindi interne a una cultura<sup>19</sup>.

Infine, in merito allo studio dei testi figurativi, è utile riportare il concetto di *densità figurativa*, introdotto da A.J. Greimas, che sarà molto utile nella nostra analisi successiva. Possiamo descriverla come un parametro variabile che rappresenta quanto un oggetto è figurativo, andando dai due estremi di completa *astrazione* (somiglianza con la realtà quasi assente) e di *iconizzazione* (estrema ricerca dell'illusione di realtà)<sup>20</sup>. Nel caso di un'immagine totalmente (o anche solo parzialmente) figurativa, si possono poi identificare dei "formanti figurativi", cioè tratti che consentono il riconoscimento di un oggetto.

Nel caso di opere non figurative, cioè completamente astratte, questo tipo di analisi non è possibile e si deve dunque procedere a un altro tipo di studio, quello della semiotica *plastica* che si applica alle configurazioni visive, indipendentemente da ciò che rappresentano<sup>21</sup>. Quest'analisi, nel nostro caso specifico, sarà utile per lo studio di quelle rappresentazioni visuali che non sono in nessun modo "iconiche" e cioè somiglianti alla realtà ma che sono comunque interpretate dal lettore secondo una loro significatività, cioè alla loro pertinenza rispetto al piano del contenuto. Pertinenza che in alcuni casi (e qui torniamo al concetto di codice nella nostra accezione di "istruzione per la decodifica") può non essere voluta o cercata, ma genera, malgrado le esplicite intenzioni dell'autore, rimandi simbolici al contenuto (o, meglio, a quello che può essere ritenuto tale, sulla base della propria esperienza personale).

Le immagini comunicano a prescindere dall'effettiva volontà di divulgare (...) da parte del loro autore. Come un qualsiasi testo scritto, un'immagine è uno strumento di comunicazione e ha una propria e netta autonomia rispetto alla

---

<sup>19</sup> P. Polidoro, *Che cos'è la semiotica visiva*, 2008, p.13 in riferimento a U. Eco, *Kant e l'ornitorinco*, 1997.

<sup>20</sup> A.J. Greimas, *Sémiotique figurative et sémiotique plastique*, 1984.

<sup>21</sup> P. Polidoro, *cit.*, p.9.

volontà del suo produttore: una volta fissato su un supporto e reso così indipendente dal suo autore, lo scritto comunica e continua a farlo finché qualcuno è in grado di leggerlo<sup>22</sup>.

## 1.2 Atti comunicativi e funzioni della comunicazione

Abbiamo introdotto i testi come mezzi di comunicazione.

Comunicare non significa esclusivamente “avere un significato”: implica l’intenzione consapevole di dire qualcosa e anche la volontà di raggiungere un obiettivo comunicativo.

[...] Representation entails both interpretation and intentionality (...) Such attempts to put the “world on paper” do not constitute neutral descriptive mnemonic texts. They reflect particular points of view framed by the possibilities of representation, cultural tools, and icons that are available at a given time<sup>23</sup>.

Per una classificazione delle funzioni della comunicazione ci serviamo del modello introdotto alla fine degli anni '50 dal linguista russo Roman Jakobson che implicitamente modificava (restituendogli la complessità propria delle comunicazioni umane) il modello introdotto nel 1949 da due ingegneri, Claude E. Shannon e Warren Weaver.<sup>24</sup>

Il modello di Shannon e Weaver include, per studiarli, gli aspetti tecnici della trasmissione di un messaggio e prevede quindi: una *sorgente* che emette il *messaggio*, che a sua volta è *codificato* e diventa un segnale (privato della ridondanza), viaggia su un *canale* (che può introdurre *rumore*) e diventa segnale ricevuto, che va *decodificato* per essere ricevuto in forma comprensibile dal *destinatario*.

Possiamo schematizzare, semplificandolo, il modello in questi passaggi:

fonte → codifica → canale → decodifica → destinazione.

L’adattamento introdotto da Jakobson (riportato in Figura 1), si concentra sempre sull’interazione mittente-messaggio-destinatario, introducendo una serie di altri aspetti tutti sempre compresenti nell’atto comunicativo, che possono essere più o meno rilevanti.

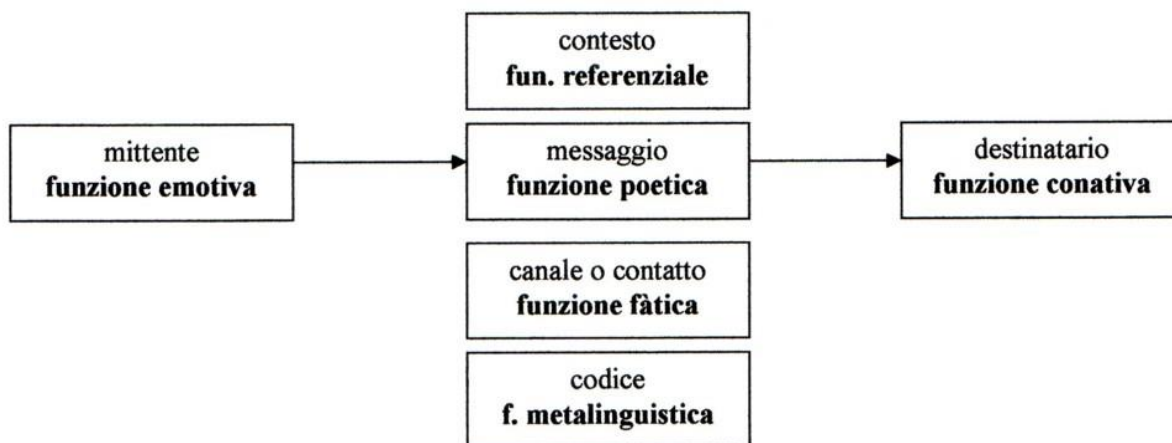
---

<sup>22</sup> C. Marmo, *cit.*, p.19-20.

<sup>23</sup> I. Martins, *Visual imagery in school science texts*, 2014, p.75.

<sup>24</sup> Il modello di Shannon e Weaver era pensato in riferimento al passaggio di informazioni attraverso dispositivi meccanici o elettrici di comunicazione per rispondere a quesiti di natura tecnica (cfr. L. Floridi, *Semantic Conceptions of Information*, 2013) ed è stato infatti definito in seguito *modello postale della comunicazione* (cfr. F. Cimatti, *Fondamenti naturali della comunicazione*, 1999).

“Ciascuno di questi fattori”, secondo Jakobson, “dà origine a una funzione linguistica diversa”<sup>25</sup>, nel senso che la predominanza di uno o dell’altro permette di distinguere tra diverse funzioni dell’atto comunicativo:



**Figura 1** Il modello di Shannon e Weaver modificato da Jakobson.

In breve, la funzione *emotiva* (o espressiva) è quella che “mira a un’espressione diretta dell’atteggiamento del soggetto riguardo a quello di cui si parla” (ad esempio approvazione o disapprovazione); quella *conativa* ha uno scopo manipolatore o costrittivo (esempi sono l’uso dell’imperativo o del vocativo); quella *fàtica* ha lo scopo di tenere aperto il canale di comunicazione, attirando l’attenzione dell’interlocutore. La funzione prevalente di numerosi messaggi è quella *referenziale* e cioè quella in cui si pone l’accento sull’oggetto della comunicazione, su quello che si vuole comunicare al destinatario del messaggio.

L’interesse principale per Jakobson è invece la *funzione poetica*, che mira ad attirare l’attenzione del destinatario su come il messaggio è costruito (ad esempio sulle figure retoriche utilizzate). La funzione definita da Jakobson *metalinguistica* è infine quella in cui il messaggio è focalizzato sul codice e cioè sul linguaggio usato per la comunicazione (un esempio comune sono affermazioni o domande del tipo “cosa vuoi dire?” o “capisci cosa intendo?”).

#### 1.4 Codici e interpretazione

Abbiamo fin qui parlato di codice come “strumento interpretativo”, “insieme di istruzioni” che permettono di passare da una rappresentazione al suo contenuto. Dal punto di vista semiotico, il codice rappresenta la relazione tra significante e significato, un rapporto di

<sup>25</sup> R. Jakobson, *Essais de linguistique générale*, 1963.

corrispondenza tra segno e oggetto. Volendo analizzare le rappresentazioni visuali utilizzate in ambito scientifico non come “segni” elementari, ma come testi complessi, il codice di cui parliamo è il linguaggio di cui si fa prevalentemente uso nel testo analizzato.

In questo paragrafo esponiamo brevemente le teorie su cui basiamo la nostra accezione del termine “codice” che, a partire da queste considerazioni, continueremo a usare nel seguito di questa tesi (spesso definendolo anche “iconografico”).

Il *modello istruzionale e inferenziale*<sup>26</sup> introdotto da Eco “propone una semiotica dei testi particolarmente focalizzata sull’interpretazione e sulle operazioni di cooperazione previste dal testo stesso”<sup>27</sup>. Si parla di alcuni passaggi necessari alla corretta interpretazione del testo (che noi definiremo anche nel seguito “comprensione del codice”). Prima di tutto è necessario il *riferimento alle circostanze* di enunciazione o produzione del testo; di questo processo fa parte la definizione del mondo cui il testo fa riferimento, con la conseguente attitudine assunta da chi legge il testo (la fiaba induce una *sospensione dell’incredulità*, il romanzo ha un’ambientazione verosimile quindi induce il confronto con l’esperienza personale, ecc.). Si stabilisce un *contratto di lettura* tra autore e lettore. In seguito, devono essere messi in atto alcuni *passi cooperativi* da parte dei vari lettori. Il primo, il più semplice e utile per la nostra trattazione è il ricorso che il lettore deve fare a una certa *competenza lessicale e inferenziale*. Nel caso delle immagini usate in ambito scientifico, questa può essere intesa come la conoscenza del tipo di rappresentazione che si sta guardando e delle regole di base della sua composizione (cos’è un diagramma a torta e come si legge, come viene costruito un grafico, ecc.).

### **1.5 Come useremo i concetti di semiotica qui introdotti**

Riassumiamo i concetti esposti in questi paragrafi introduttivi, contestualizzandoli in riferimento alla trattazione che faremo nel seguito.

In questo capitolo ci proponiamo di analizzare le rappresentazioni visuali in ambito scientifico, in particolare quelle che hanno come scopo la veicolazione di informazioni su oggetti o fenomeni non visibili all’occhio umano.

Assumiamo che le immagini di cui ci occuperemo siano, dal punto di vista semiotico, *testi figurativi e plastici*, con diversi gradi di “figuratività”, che introdurranno problemi diversi nella loro lettura.

---

<sup>26</sup> U. Eco, *Semiotica e filosofia del linguaggio*, 1984.

<sup>27</sup> Cfr. C. Marmo, *cit.*, p.199-226.

La nostra analisi sarà tesa a sottolineare come la somiglianza al reale, intesa (nel primo caso) o “accidentale” (nel secondo) possa portare a concezioni errate sia in merito alla realtà fisica rappresentata sia al metodo di rappresentazione che, in ambito scientifico, è esso stesso parte fondante del contenuto che si vuole rappresentare (ad esempio per le rappresentazioni visuali in falsi colori e del nanomondo).

Tutte le rappresentazioni che analizzeremo sono atti comunicativi in *codice* (nell’accezione chiarita nel paragrafo precedente), cioè costruiti secondo precise regole interpretative che sono, almeno in parte, culturalmente denotate: riteniamo che il *contratto di lettura* del testo debba essere chiaro al destinatario della comunicazione e che, in quanto non necessariamente naturale, debba in molti casi essere appreso e divenire consapevole.

In altre parole, in merito alle funzioni comunicative, ci proponiamo di dimostrare come, nel caso complesso dell’uso di immagini in ambito scientifico, sia opportuno porre l’attenzione sul codice utilizzato, prima (e oltre) che sul contesto che si intende veicolare: per usare le definizioni di Jakobson, vogliamo affermare che, nel caso di visualizzazione scientifica, è importante che il messaggio abbia una funzione *metalinguistica*, oltre che *referenziale*.

Infine, se è fondamentale che in fase di decodifica si riconosca l’esistenza di un codice con determinate chiavi interpretative, questa consapevolezza è forse ancora più cruciale in fase di codifica, cioè nella fase di creazione della rappresentazione visuale, quando il codice viene definito, quando è essenziale chiedersi se e come debba essere univocamente e chiaramente esplicitato. La scelta può anche essere quella di sottintendere il codice, ma deve essere consapevole. E comunque una simile decisione dovrebbe essere presa solo nel caso in cui si ha la certezza che il lettore dell’immagine conosca, senza bisogno di apprenderlo, il codice interpretativo o, in altre parole, che abbia chiaro il contratto di lettura delle immagini che gli si presentano e che possieda la competenza lessicale e inferenziale necessaria a interpretarle.

## **2. Le immagini nella scienza**

“Un’immagine vale più di mille parole”<sup>28</sup>.

Si ritiene comunemente che le immagini siano la forma di comunicazione più efficace, perché attirano l’attenzione molto più che un testo scritto e sono memorizzate più stabilmente, e veloce, nel senso che noi processiamo un’immagine più velocemente di un testo.<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup> Per le fonti e la storia di questa affermazione, si rimanda a:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/A\\_picture\\_is\\_worth\\_a\\_thousand\\_words](https://en.wikipedia.org/wiki/A_picture_is_worth_a_thousand_words)

Le immagini in ogni ambito comunicativo hanno un forte impatto emotivo, oltre che informativo. In ambito scientifico spesso sono state essenziali per la costruzione della percezione dei risultati scientifici, non solo in termini di comprensione di un concetto, ma anche di impulso immaginativo.

Dalla Monna Lisa all'Alhambra alla pianta della metropolitana di Londra o del Tower Bridge, certe immagini si fissano nella nostra mente ed esercitano un'enorme influenza. Danno forma ai nostri ricordi del mondo. Lo stesso accade nella scienza. Alcune immagini hanno definito i nostri passi in avanti nella comprensione dell'universo, altre si sono dimostrate talmente efficaci nel comunicare la natura della realtà da essere divenute parte del processo del pensiero stesso, come i numeri o le lettere dell'alfabeto. Altre ancora, altrettanto influenti, sono così familiari da passare inosservate nel procedimento scientifico, come parti del vocabolario della scienza di cui ci serviamo senza pensarci. [...] sono qualcosa di intermedio tra un oggetto e un'idea<sup>30</sup>.

Images are, in many respects, essential to science. Examples from the history of science include Faraday's construction of the reality of magnetic fields through the visualization of force lines and Watson and Crick's metaphor of a double helix to explain the structure of the DNA molecule<sup>31</sup>.

La comunicazione visiva negli ultimi anni è entrata in modo impellente negli ambiti scientifici. John D. Barrow, nell'introduzione al libro *Le immagini della scienza*, scrive:

Nel giro di pochi anni la presentazione della scienza a tutti i livelli, dai seminari tecnici per addetti ai lavori alle esposizioni divulgative per il pubblico più ampio, ha assunto un carattere fortemente connotato in senso visuale. [I mutamenti di natura sociologica e tecnica hanno] fatto sì che le immagini dominino la scienza in un modo che sarebbe stato tecnicamente ed economicamente impossibile soltanto vent'anni fa. Nella scienza c'è una vera e propria cultura visiva ed è in rapido mutamento<sup>32</sup>.

Si tratta in realtà di un ritorno, un processo circolare, perché da una parte, come vedremo nel prossimo paragrafo, la scienza ha prodotto essa stessa i suoi metodi di rappresentazione

---

<sup>29</sup> Si tratta di affermazioni spesso riferite al senso comune, che però hanno fondamento negli studi sulla percezione (<http://www.imagethink.net/imagethink-2/true-or-falsevisuals-superior-medium/>).

<sup>30</sup> J. D. Barrow, *Le immagini della scienza*, 2009, p.3.

<sup>31</sup> I. Martins, *cit.*, p.75.

<sup>32</sup> J. D. Barrow, *cit.*, p.3 e 9.

visuale per scopi dimostrativi e divulgativi; dall'altra, l'avanzamento tecnologico che oggi mette a disposizione della scienza applicazioni e strumenti grafici inattesi, con prestazioni di alto livello a basso costo ha avuto origine negli ambiti di ricerca pura, scaturendo dall'urgenza di strumentazione e calcolatori sempre più performanti.

Nel caso delle immagini però, il recente "rientro" applicativo sulle attività di ricerca è stato particolarmente rivoluzionario, perché i livelli raggiunti dalla grafica, anche in seguito alle richieste commerciali e di mercato, si sono rivelati utili anche in ambiti in cui si poteva credere di non sentirne l'esigenza.

## 2.1 La visualizzazione scientifica

Il termine "visualizzazione" indica la resa in forma visiva di qualsiasi tipo di contenuto.

Lo statistico e psicologo Michael Friendly (2009) parla di *information visualization* in senso generale, intendendo qualsiasi tipo di informazioni raccolte e propriamente organizzate in tabelle, grafici, mappe (o addirittura testi), sia statici sia dinamici, che forniscano i mezzi per "vedere cosa c'è dietro", dare risposta a una domanda, individuare relazioni o anche comprendere cose che non sarebbe stato possibile vedere così chiaramente in nessun altro modo<sup>33</sup>.

Nella sua trattazione, Friendly definisce la *visualizzazione scientifica* come visualizzazione di fenomeni (principalmente in 3D) in cui l'enfasi è posta sulla resa realistica di volumi, superfici, fonti di illuminazione (eventualmente anche considerandone la dinamica e l'evoluzione temporale), differenziandola dalla più generica *visualizzazione di dati*, intesa come la rappresentazione visuale di informazioni (di qualsiasi natura) estrapolate e raccolte in forma schematica.

Un'altra definizione che va circa nella stessa direzione è quella di *infovis* (information visualization) e *scivis* (scientific visualization) data dall'informatica Tamara Munzner:

As many have lamented, the names of these subfields are unfortunate and confusing for outsiders. The definition I use is that it's infovis when the spatial representation is chosen, and it's scivis when the spatial representation is given<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> M. Friendly, *Milestones in the history of thematic cartography, statistical graphics, and data visualization*, 2009, <http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/milestone/milestone.pdf>

<sup>34</sup> Tamara Munzner, *Process and Pitfalls in Writing Information: Visualization Research Papers*, 2008, <http://www.cs.ubc.ca/labs/imager/tr/2008/pitfalls/pitfalls.pdf>



Secondo Munzner quindi, la peculiarità della visualizzazione scientifica rispetto a quella (più generica) di informazioni quantitative sta nei maggiori vincoli di relazione della prima con lo spazio rappresentato.

Usando le definizioni introdotte nel paragrafo precedente, diremo quindi che la visualizzazione scientifica fa uso di testi figurativi (immagini ma anche diagrammi) in rapporto di somiglianza (con i limiti discussi nel primo paragrafo) con gli oggetti rappresentati mentre, più in generale, la visualizzazione di informazioni e dati fa uso di testi più plastici (diagrammi o simboli), legati all'oggetto della rappresentazione da regole più convenzionali e arbitrarie. Si tratta sempre di testi figurativi, che possono avere maggiore o minore *densità figurativa*, cioè essere in rapporto di minore o maggiore somiglianza con la realtà che intendono rappresentare.

Secondo le definizioni qui riportate, la visualizzazione scientifica si caratterizzerebbe rispetto a quella più generale di informazioni, nell'utilizzare rappresentazioni vincolate alla resa realistica dello spazio e dei fenomeni illustrati<sup>35</sup>. In questo senso, la *scivis* ha maggiore densità figurativa dell'*infovis*.

Per gli scopi di questa tesi, noi assumiamo che:

**Visualizzazione scientifica è ogni rappresentazione visuale di dati quantitativi, risultato di osservazioni dirette, misurazioni, estrapolazioni o calcoli effettuati sul sistema.**

Nella nostra analisi, noi distingueremo le visualizzazioni sia sulla base della natura dei dati sia del tipo di visualizzazione.

In particolare, distingueremo tra rappresentazioni di entità *concrete* e *astratte* e tra modalità di rappresentazione *figurative* e *arbitrarie*.

*Oggetto della visualizzazione: dati concreti e astratti*

Intendiamo per *entità concreta* tutto ciò che è fisicamente esistente, sia in senso materiale che di proprietà fisica quantificabile (come la temperatura, la pressione, la concentrazione di un elemento chimico, ecc.) intrinsecamente legata al sistema rappresentato.

Indichiamo invece come entità *astratte* quelle non fisicamente esistenti o non intrinsecamente legate al sistema rappresentato, quindi, appunto, ottenute per astrazione.

---

<sup>35</sup> Come vedremo nel seguito, questo tipo di rappresentazione è quello di maggior interesse per gli scopi della nostra tesi, ma per noi rappresenta un sottoinsieme delle varie forme di visualizzazione scientifica.

Tutte le entità cui facciamo riferimento sono dati quantitativi, ma generalmente quelle concrete sono frutto di misurazione scientifica diretta, mentre quelle astratte sono frutto di estrapolazione teorica e calcolo. Spesso i dati a cui noi ci riferiamo come “astratti” sono di origine antropica, connessi dalle scienze statistiche e umane.

### *Tecniche di visualizzazione: figuratività e arbitrarietà*

Per quanto riguarda invece le tecniche di visualizzazione, le definiamo *figurative* (o *verosimili*) quando ricalcano l'apparenza visibile dell'oggetto reale, riproducendone i tratti (ad esempio le immagini in falsi colori o le mappe di contorni). Usiamo invece il termine *arbitrarie* (o *simboliche* o *plastiche*) per le rappresentazioni in cui i dati sono riportati in configurazioni chiaramente astratte e non fisicamente esistenti (un grafico, un diagramma a torta, ecc.).

Esistono moltissimi esempi di visualizzazione scientifica. Cercheremo di introdurre qui le rappresentazioni che storicamente hanno avuto maggiore impatto innovativo, in termini di resa dei contenuti e di influenza sul processo scientifico. Per meglio inserirle in senso funzionale nella nostra trattazione, le riferiremo alle categorie appena descritte, caratterizzandole cioè in riferimento all'oggetto e alla tecnica di rappresentazione.

## **2.2 Esempi storici di visualizzazione scientifica e loro classificazione**

La storia delle immagini costruite per rappresentare dati quantitativi in forma visuale ha radici antichissime e interessa moltissimi ambiti culturali, dall'astronomia, alla geografia, alla matematica, alla statistica e alle scienze sociali<sup>36</sup>.

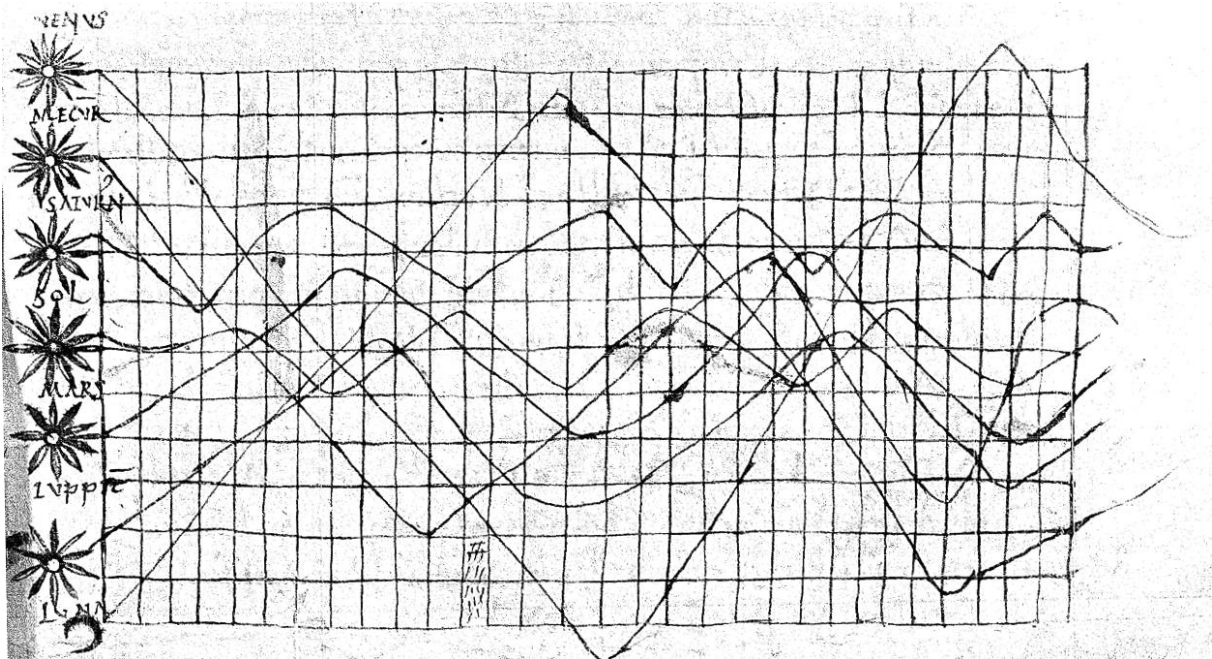
In tempi remoti, oggetto di rappresentazione erano principalmente dati concreti, cioè cose fisicamente esistenti (o comunque osservabili). Ne sono esempi i primitivi disegni rupestri, i disegni geometrici dell'antica Grecia e le mappe celesti in cui gli Egizi indicavano la posizione delle stelle (e delle costellazioni) e le mappe per la navigazione. I dati concreti erano però spesso affiancati a concetti astratti (come animali a rappresentare le costellazioni o simbolismi culturali affiancati alle geometrie reali). Anche la rappresentazione era tipicamente figurativa, nel senso che riproduceva posizioni e proporzioni del sistema

---

<sup>36</sup> Molti degli esempi storici di visualizzazione sono tratti dal testo *A brief history of data visualization* (Springler-Verlag, 2006) di Michael Friendly.

rappresentato, però l'intento non era sempre quello di creare una relazione univoca con lo spazio rappresentato<sup>37</sup>.

La prima rappresentazione grafica simbolica di dati concreti risale al X secolo: si tratta della rappresentazione del cambiamento di posizione (nello spazio e nel tempo) dei sette corpi celesti più importanti (Figura 2)<sup>38</sup>.



**Figura 2** Rappresentazione della variazione di inclinazione di sette corpi celesti nel tempo. L'immagine apparve nel X secolo in un'appendice al commento di A. T. Macrobius su *In Somnium Scipionis* di Cicerone.

Per una teorizzazione di quello che noi intendiamo qui come rappresentazione *arbitraria* bisogna aspettare però il XVI secolo, quando il vescovo Nicole Oresme introdusse l'idea di creare il grafico di una funzione e mostrò in un suo testo la relazione tra i dati di una tabella e la loro rappresentazione su di un diagramma. Da allora iniziarono a circolare grafici e modelli fatti a mano e utilizzati per spiegare e mostrare osservazioni e misure, fare previsioni e comprendere teorie. Siamo ancora nel campo dei dati che abbiamo definito concreti.

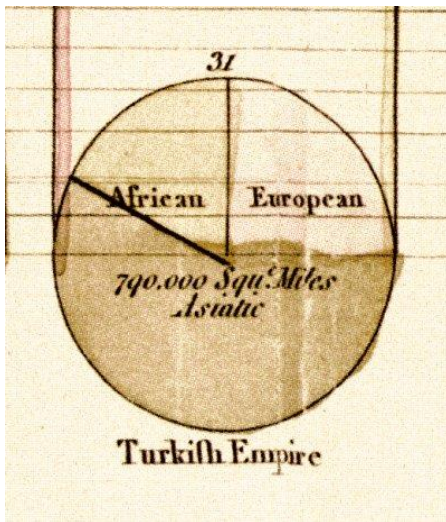
Nel XVII secolo, complice lo sviluppo di nuovi strumenti matematici (come ad esempio la geometria analitica e il sistema di coordinate cartesiane, le teorie degli errori e della probabilità), le rappresentazioni di dati in forma grafica cominciarono a essere usate anche nel

<sup>37</sup> Possiamo affermare che in questi casi più che di visualizzazione di dati si tratta di resa artistica e pittorica di concetti legati alla vita quotidiana, ma non necessariamente tratti dalla realtà, con intento di coinvolgimento anche emotivo. Questo tipo di rappresentazioni hanno una bassa densità figurativa.

<sup>38</sup> Tutte le immagini storiche di questo paragrafo sono tratte da:  
<http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/milestone/>

campo delle scienze umane, per studiare le caratteristiche di un contesto da un punto di vista civile, politico ed economico.

Alla fine del 1700, William Playfair introdusse le rappresentazioni grafiche di dati statistici cui noi oggi siamo più abituati (i grafici a barre, i grafici lineari, i diagrammi circolari e i grafici “a torta”). In riferimento alla nostra classificazione, quelle di Playfair sono le prime rappresentazioni arbitrarie di dati astratti<sup>39</sup> (Figura 3). L’arbitrarietà sta nella scelta della relazione tra realtà rappresentata (dato) ed espressione grafica (fette di torta stilizzata o barre di dimensioni proporzionali al dato quantitativo). La lettura di questo tipo di grafici, potentissimi mezzi di visualizzazione di dati statistici e non, non si dimostrarono intuitive e ovvie al primo approccio, tant’è che Playfair impiegò diverse pagine a illustrarne il significato ai lettori.



**Figura 3** Diagramma a torta tratto dal libro "The Commercial and Political Atlas and Statistical Breviary" di William Playfair.

In ambito di dati concreti e misurazioni scientifiche, un’importante innovazione è stata introdotta all’inizio del XVIII secolo da Edmond Halley, che si occupava di astronomia, fisica, geofisica, matematica, climatologia e meteorologia<sup>40</sup>. Halley introdusse nel 1701 il sistema di rappresentazione “a isolinee” (Figura 4) per mostrare su una mappa contorni che uniscono punti in cui un determinato parametro fisico ha lo stesso valore.

<sup>39</sup> Come accennato, consideriamo qui i dati statistici come astratti, perché non fisicamente intrinseci al sistema.

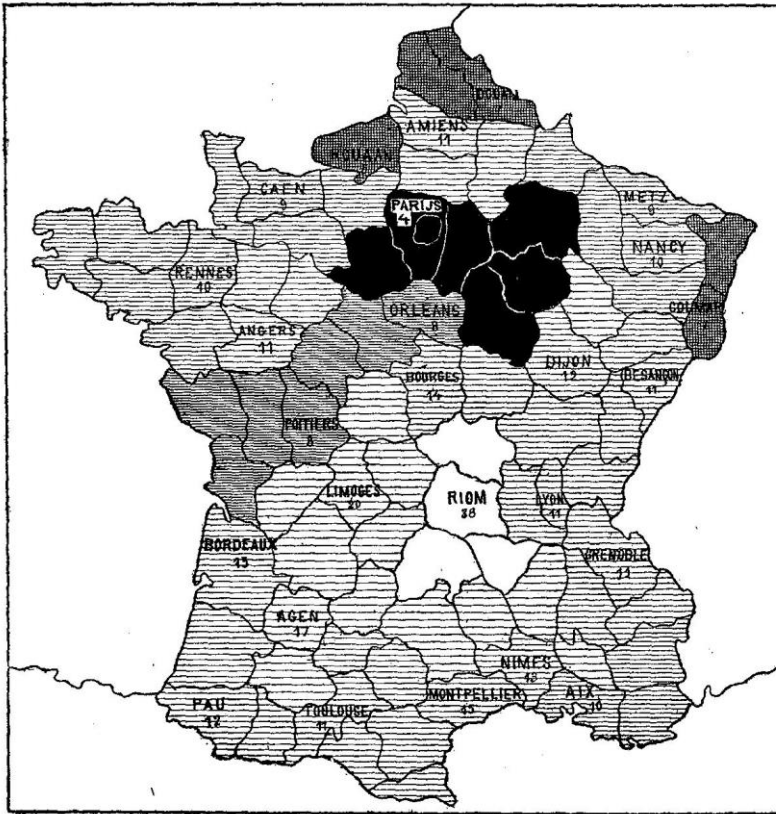
<sup>40</sup> Nel 1686, Halley aveva già prodotto la visualizzazione dei principali venti su una mappa del pianeta, ritenuta la prima mappa meteorologica conosciuta.



**Figura 4** Mappa delle isogone (linee a uguale declinazione magnetica) prodotta da E. Halley nel 1701.

Esempi di questo tipo di visualizzazione molto efficace sono le isobare (linee che congiungono punti alla stessa pressione), le isoterme (stessa temperatura), isofote (stessa luminosità), ecc. In questo caso, la visualizzazione tende chiaramente a rendere visivamente le caratteristiche fisiche del sistema, cercando di riprodurre la materialità. Si tratta quindi di rappresentazioni figurative di dati concreti.

Quella prodotta da Halley è uno dei primi esempi di *carta tematica*, cioè di mappa geografica su cui sono rappresentati dati relativi ad alcuni aspetti del territorio rappresentato. Le carte tematiche, che si diffusero moltissimo a partire dal XIX, usano solitamente simboli e colori che agevolano il colpo d'occhio e l'immediata visualizzazione dei dati rappresentati, che possono essere fisici, medici, economici, statistici, sociali, ecc. Uno dei primi esempi di visualizzazione di statistiche sociali su carta tematica è la mappa di distribuzione dell'analfabetismo in Francia, realizzata da Charles Dupin nel 1826 (Figura 5).



**Figura 5** Carta tematica che illustra la distribuzione dell'analfabetismo in Francia. Questo è anche il primo caso di mappa *coropletica*, in cui il valore del parametro è rappresentato con diverse *texture* che riproducono la sensazione delle scale di grigio (o in epoche più moderne, in diversi colori) nelle diverse regioni della mappa. Nel caso riportato, il nero indica maggior numero di analfabeti.

Le carte tematiche sono sempre rappresentazioni di tipo figurativo, perché utilizzano come contesto rappresentativo i tratti fisici del sistema rappresentato (come fosse una foto fatta dall'alto).<sup>41</sup> Il tipo di dati riportato su una carta tematica può però essere, come abbiamo visto, sia concreto sia astratto. La mappa di Dupin è una rappresentazione figurativa di dati astratti. Un esempio molto comune di questo tipo di rappresentazione è la *mappa politica* di una regione, in cui sono rappresentate le divisioni in Stati dell'area raffigurata, proprietà estrinseca al sistema.

Dal 1800, la diffusione dell'uso delle rappresentazioni visuali e la loro inclusione in molte pubblicazioni scientifiche segnano anche la svolta nel ruolo della visualizzazione di dati. Non si tratta più solo di un modo per mostrare i propri risultati, ma anche di un potente mezzo di ricerca e di ulteriore comprensione da parte dell'autore stesso delle osservazioni, della

<sup>41</sup> In realtà bisognerebbe considerare che in molte carte tematiche, anche se i dati rappresentati sono fisici (come ad esempio una mappa fisica di una regione), sono spesso riportati anche i nomi delle località, delle strade, dei monti, mari e fiumi, che sono dati astratti. Dunque il livello di figuratività può variare molto.

raccolta dati e della visualizzazione. Un esempio emblematico di questa rivoluzione è la mappa dei casi di colera prodotta da John Snow nel 1855.



**Figura 6** Mappa dei casi di colera in un quartiere di Londra durante l'epidemia del 1854 (J. Snow, 1855).

Sulla mappa (di cui riportiamo la parte centrale, Figura 6) sono indicate le posizioni delle pompe dell'acqua e sono rappresentate in nero le abitazioni in cui si erano registrate morti per l'epidemia di colera che aveva colpito Londra nel 1854. L'addensamento di casi vicino alla pompa di Broad Street portò Snow a ipotizzare che l'agente infettante fosse proprio nell'acqua di quella pompa e a proporre che fosse chiusa.

Una simile rappresentazione era stata fatta anche da Robert Baker nel 1833, in seguito all'epidemia che aveva colpito la città inglese di Leeds. La mappa di Baker evidenziava però i quartieri interessati, senza riferimento al numero di morti in funzione delle zone, impedendogli quindi di individuare dove c'era stata maggior incidenza di casi<sup>42</sup>.

Questo è un evidente esempio di come la visualizzazione può indirizzare e guidare (o ostacolare) lo studio da cui è scaturita in prima battuta.

---

<sup>42</sup> Anche Snow aveva rilevato la presenza di casi di colera lontano dall'origine del contagio, ma il numero contenuto di quei casi l'aveva portato a considerarli "anomali": condusse infatti delle interviste che mostrarono che anche i malati più lontani da Broad Street si erano approvvigionati a quella pompa.

Tornando alla nostra classificazione, la storica mappa di Snow è una rappresentazione figurativa<sup>43</sup> di dati astratti, estrapolati grazie ad altre informazioni disponibili sul sistema e non intrinsecamente legati al sistema. Una mappa dei quartieri di Londra in cui fosse stata mostrata invece la presenza del batterio del colera nelle acque cittadine sarebbe stata invece una rappresentazione di dati concreti, ottenuti da una misurazione diretta delle proprietà fisiche e batteriologiche dell'acqua. In altre parole, i quartieri della mappa, secondo la nostra caratterizzazione, possono essere “fisicamente caratterizzati” dalla presenza del batterio del colera, ma non dall'incidenza dei decessi per colera.

Un importante svolta per la visualizzazione (non solo in ambito scientifico) è la nascita della fotografia a colori, dovuta al fisico James Clerk Maxwell nel 1861. Il procedimento per la realizzazione dell'immagine è complesso: l'oggetto colorato era fotografato su tre diverse lastre attraverso tre filtri nei tre colori primari blu, verde e rosso. Dalle lastre erano poi ricavate tre diapositive che, proiettate su uno schermo mediante tre proiettori muniti degli stessi filtri usati per la ripresa, riproducevano il soggetto fotografato a colori.

Secondo la nostra classificazione, le fotografie sono il caso più evidente ed emblematico di rappresentazioni figurative (e verosimili) di dati concreti. Tanto che, facendo riferimento ai discorsi sulla chiarezza del codice interpretativo introdotti nel paragrafo precedente, queste sono le rappresentazioni in cui più facilmente la codifica è sottintesa e che più facilmente si prestano a essere identificate con il loro oggetto<sup>44</sup>.

In realtà, la foto a colori di un nastro colorato realizzata da Maxwell (e Thomas Sutton, il fotografo con cui collaborava) per la prima dimostrazione della tecnica, era stata fatta utilizzando lastre di un materiale<sup>45</sup> sensibile (invece che al rosso e al verde) alla “luce” ultravioletta, invisibile all'occhio umano. Il risultato fu la prima immagine in *falsi colori* di un oggetto fisico, cioè una rappresentazione visuale che sostituisce colori arbitrari a onde elettromagnetiche non visibili all'occhio umano, per poterle visualizzare<sup>46</sup>.

---

<sup>43</sup> La classificazione del tipo di rappresentazione, come nel caso delle carte tematiche, è in realtà più complessa, perché si tratta di una rappresentazione “a più livelli”. La mappa della città usata da Snow è in sé una visualizzazione figurativa di dati astratti, perché riproduce il profilo fisico della città, indicando i nomi delle strade, che non sono una caratteristica fisica del sistema.

<sup>44</sup> Lo stesso discorso vale per i disegni (e i dipinti) in cui la relazione con l'oggetto rappresentato è molto forte. Un esempio illustre è il dipinto, considerato il manifesto del surrealismo, di René Magritte che rappresenta una pipa e riporta la scritta “Ceci n'est pas une pipe” (Questa non è una pipa), a sottolineare la differenza tra un oggetto e la sua rappresentazione.

<sup>45</sup> Collodio umido.

<sup>46</sup> Maxwell non si poteva rendere esattamente conto di cosa fosse successo e del perché il rosso e il verde non fossero bene rappresentati nell'immagine della dimostrazione, ma intuì il problema, scrivendo nelle sue note



### 2.3 Le tecniche di imaging e i falsi colori

Con l'avvento dei computer, la visualizzazione scientifica raggiunge risultati e potenzialità insperati e in qualche modo anche inimmaginabili. Lo stesso Friendly, nella sua ricostruzione storica, quando arriva a trattare gli anni dal 1975 al 2000 inizia così:

During the last quarter of the 20th century data visualization has blossomed into a mature, vibrant and multi-disciplinary research area [...] and software tools for a wide range of visualization methods and data types are available for every desktop computer. Yet, it is hard to provide a succinct overview of the most recent developments in data visualization, because they are so varied, have occurred at an accelerated pace, and across a wider range of disciplines. It is also more difficult to highlight the most significant developments, that may be seen as such in a subsequent history focusing on this recent period<sup>47</sup>.

Una delle rivoluzioni fondamentali dovute alla crescita esponenziale delle velocità di calcolo e di memoria dei calcolatori è la nascita delle tecniche di *imaging* elettronico, con cui si denotano tutte le fasi di creazione di un'immagine digitale. Il processo di imaging include l'oggetto che emette o riflette l'energia (tipicamente sotto forma di onde elettromagnetiche) che si vuole visualizzare, il sensore in grado di ricevere il tipo di energia emessa e di trasformarla in un segnale elettronico, un software in grado di trasformare quel segnale in una rappresentazione visuale e infine un display su cui questa possa essere visualizzata.

In moltissimi casi, le tecniche di imaging producono immagini in falsi colori, cioè rappresentazioni in una scala di colori *arbitraria*, in cui i colori veri sono usati per evidenziare o mostrare cose che non sarebbero altrimenti visibili. La tecnica dei falsi colori è così denominata per distinguerla da quella fotografica, detta *true color*<sup>48</sup>, e indica propriamente la visualizzazione di onde elettromagnetiche non visibili all'occhio umano, rese attraverso una scala di colori arbitraria. Esistono poi alcune varianti, come la tecnica di *pseudo color*<sup>49</sup>, in cui i colori sono usati per rappresentare qualsiasi parametro fisico che non sia un'onda

---

sull'esperimento: "by finding photographic materials more sensitive to the less refrangible rays [i.e. green and red in particular], the representation of the colours of objects might be greatly improved."

<sup>47</sup> Michael Friendly, *A brief History of data visualization*, Springer-Verlag, 2006

<sup>48</sup> Come già accennato con una nota sul surrealismo, non è davvero possibile definire una tecnica di rappresentazione come "vera". In questo caso, la resa di un'immagine in colori "veri", intesi come quelli che vedrebbe l'occhio umano, è proprio impossibile, a causa della diversa sensibilità ai colori dell'occhio umano rispetto a qualsiasi sensore, la diversa resa di uno schermo o una stampante rispetto alla percezione umana dei colori, la diversa emittività o riflettività dell'immagine su stampa o schermo rispetto all'oggetto reale.

<sup>49</sup> La tecnica *pseudo color* ha essa stessa una variante, la *density slicing* in cui intervalli discreti della grandezza da rappresentare sono mostrati in un unico colore o un set discreto di colori (a differenza della tecnica *pseudo color* che usa sempre intervalli continui di colore). Notiamo che non tutte le fonti riportano le differenziazioni tra queste tecniche di rappresentazione in questi esatti termini.

elettromagnetica, e quindi temperatura, pressione, ecc. Anche le mappe coropletiche già introdotte in questo paragrafo sono esempi estremi di rappresentazioni in pseudo colori, in cui a ogni regione della mappa si fa corrispondere un unico valore del parametro (non necessariamente fisico) da visualizzare e quindi un solo colore<sup>50</sup>.

La tecnica di imaging in falsi colori è ampiamente utilizzata per la visualizzazione dei risultati ottenuti con la strumentazione scientifica moderna<sup>51</sup> ed è la tecnica più usata per la visualizzazione di onde elettromagnetiche o parametri fisici non visibili all'occhio umano.

### 3. Visualizzare il non visibile

Atoms, continental plates, and the evolution of species are among the abundant examples of entities that are inaccessible to everyday observations but need to be attributed the same reality as visible observable entities. Entities that do not occur together are brought together and displayed visually so that it is possible to see order or relationships between them<sup>52</sup>.

Alcune importanti immagini scientifiche sono costruzioni umane dotate di uno scopo particolare, ma altre sono registrazioni di fenomeni naturali, frutto di nuovi strumenti che permettono di gettare i primi sguardi su un mondo nuovo di entità ultrapiccole, assolutamente impercettibili, eccezionalmente dirompenti o inimmaginabilmente remote. Tali immagini segnano il nostro ingresso in nuovi domini, di cui ci occorrono mappe, perché l'evoluzione non ha mai considerato un investimento proficuo mettere i nostri sensi in condizione di penetrarvi da soli<sup>53</sup>.

Il termine “visualizzazione” suggerisce da sé che le rappresentazioni in oggetto siano frutto di una sorta di traduzione in forma visibile di informazioni non visibili. Le motivazioni che determinano la “non visibilità” di ciò che è rappresentato possono però essere diverse.

Nel caso di dati astratti cioè, per definizione, non individuabili empiricamente e quindi non visibili (ma anche non tangibili e in alcun modo percettibili), le motivazioni sono abbastanza chiare: la non visibilità è determinata dalla non esistenza fisica (concreta) di ciò che è

---

<sup>50</sup> Nelle prime mappe coropletiche, si usavano le texture in bianco e nero invece dei colori.

<sup>51</sup> L'imaging elettronico, nel caso dell'astronomia ottica ad esempio, ha sostituito le tecniche tradizionali di imaging fotografico.

<sup>52</sup> I. Martins, *cit.*, p.75.

<sup>53</sup> J. D. Barrow, *cit.*, p.8.

rappresentato e le rappresentazioni servono proprio per mostrare un concetto (che in questo caso è un dato quantitativo) in modo apprezzabile alla vista.

Ci sono poi i casi in cui i dati rappresentati sono osservabili direttamente (sono dunque concreti) ma non sono concomitanti e devono essere visualizzati insieme per poter comprendere relazioni che altrimenti non sarebbe possibile vedere.

Nel caso di entità concrete (quindi esistenti) e presenti (nello spazio e nel tempo) all'osservatore, la non visibilità è determinata da specifiche condizioni legate alla natura fisica dell'oggetto o ai limiti (sempre di natura fisica) che ne impediscono la visione.<sup>54</sup>

Un **oggetto fisicamente non visibile** è qui inteso come qualcosa di cui non è possibile ottenere un'immagine come risultato dell'interazione del sistema occhio/cervello (o di analoghi sistemi ottici<sup>55</sup>) con onde elettromagnetiche visibili emesse o riflesse dall'oggetto.

Questo ci porta a distinguere tra oggetti non visibili per cause *intrinseche*, e cioè perché non emettono o riflettono, per loro natura, onde elettromagnetiche visibili, o *estrinseche*, e cioè perché non possono essere colpiti dalla luce visibile (che altrimenti rifletterebbero) oppure perché la luce che emettono non può raggiungerci.

Iniziamo analizzando le cause intrinseche.

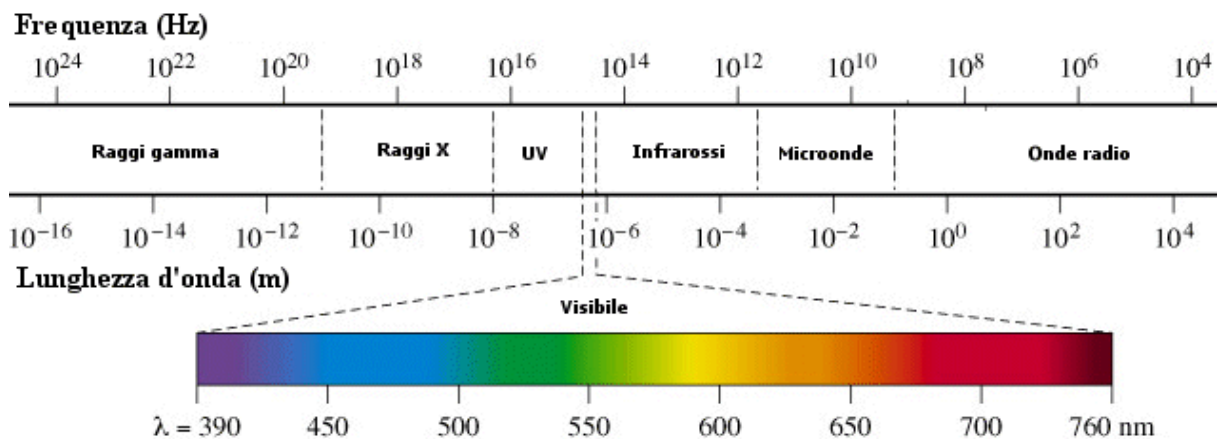
Esistono in natura oggetti fisicamente non visibili, perché emettono onde elettromagnetiche diverse dalla luce, che i nostri occhi non sono in grado di percepire in alcun modo.

Tutto ciò che ha una temperatura al di sopra dello zero assoluto (-273.15 gradi centigradi) emette energia sotto forma di onde elettromagnetiche, e cioè: onde radio, infrarossi, luce visibile, ultravioletto, raggi X e onde gamma. La luce è una piccola porzione dello spettro elettromagnetico (Figura 7) e noi siamo in grado di vedere solo l'energia emessa sotto forma di luce.

---

<sup>54</sup> *Vedere* in senso fisiologico significa trasformare la luce che raggiunge il nostro occhio in impulsi nervosi che il cervello riceve. Il termine "luce" indica le onde dello spettro elettromagnetico che hanno lunghezza d'onda compresa tra 400 e 700 nanometri (nm, miliardesimi di metro) e sono percepibili dall'occhio umano. Questo intervallo coincide anche con il centro della regione spettrale della luce emessa dal Sole che riesce ad arrivare al suolo attraverso l'atmosfera. I limiti dello spettro visibile all'occhio umano variano soggettivamente e possono raggiungere i 720 nm, avvicinandosi agli infrarossi, e i 380 nm avvicinandosi agli ultravioletti.

<sup>55</sup> Intendiamo qui i sistemi ottici che sfruttano principi di funzionamento analoghi alla vista, ad esempio microscopi o telescopi ottici.



**Figura 7** Spettro elettromagnetico in cui è riportata in scala reale la porzione di luce visibile, poi zoomata per rivelare l'ulteriore suddivisione della luce visibile in frequenze (e quindi colori)<sup>56</sup>.

Ogni tipo di emissione in forma di onde elettromagnetiche dà informazioni sul corpo che stiamo osservando (la sua temperatura, la presenza di alcune sostanze, ecc.), quindi lo studio di tutte queste emissioni è essenziale in fisica, soprattutto nei casi in cui l'oggetto della ricerca non è accessibile a sperimentazioni dirette (ad esempio in astrofisica).

Oggetti non visibili perché emettono onde elettromagnetiche diverse dalla luce necessitano di strumenti ad hoc per essere rivelati e tecniche ad hoc per essere visualizzati.

Rimanendo in ambito di oggetti fisicamente esistenti, un'altra causa intrinseca di non accessibilità alla visione è la dimensione dell'oggetto. Banalmente, oggetti troppo piccoli sono invisibili a occhio nudo<sup>57</sup>. La cosa più piccola che l'occhio umano riesce a distinguere senza supporti ha una dimensione di un decimo di millimetro (se posta a una distanza di mezzo metro dall'occhio). Alla distanza della Luna, non siamo in grado di distinguere oggetti più piccoli di circa 85 km. In questi casi, l'occhio umano ha avuto nei secoli l'aiuto di telescopi e microscopi ottici che ingrandendo l'immagine, cioè avvicinandola virtualmente al nostro occhio, ci permettono di vedere dettagli più piccoli di quelli che siamo in grado di distinguere a occhio nudo.

Secondo la nostra definizione, un oggetto ancora visibile con l'ausilio di uno strumento che usi la luce e che riproduca il funzionamento dell'occhio umano, non è fisicamente invisibile. I

<sup>56</sup> Immagine tratta da: [http://blogs.isisdavinci.it/valeria\\_alessandro/2012/04/30/lo-spettro-elettromagnetico/](http://blogs.isisdavinci.it/valeria_alessandro/2012/04/30/lo-spettro-elettromagnetico/)

<sup>57</sup> In realtà, più che di dimensioni lineari, si parla di dimensioni angolari, cioè dell'angolo sotto cui l'occhio (o il sistema ottico) vede due punti, dato da  $\alpha = 1.22 \frac{\lambda}{D}$  (radianti). Se si considera il centro dello spettro visibile (550 nm), si ottiene il valore di circa 30" (secondi d'arco), che corrispondono a una distanza lineare di circa 0.1 mm a mezzo metro di distanza, 20 cm a un kilometro di distanza e circa 85 km alla distanza della Luna.

microscopi permettono di rivelare la presenza (e quindi di vedere) oggetti fino a 200 nm di dimensione (500 volte meglio dell'occhio nudo).

C'è però un limite fisico al di sotto del quale gli oggetti non interagiscono con la luce, non la riflettono<sup>58</sup>, quindi non possono essere visti con tecniche ottiche. In questi casi, si utilizzano strumenti che interagiscono con l'oggetto materiale in modo diverso dal nostro occhio<sup>59</sup> e che producono in uscita informazioni (tipicamente in forma di segnali elettrici) che possono poi essere visualizzati, attraverso le tecniche di *imaging*.

Analizziamo infine le cause di non visibilità (sempre di oggetti concreti) legate a fattori estrinseci e cioè alla presenza di ostacoli che impediscono il passaggio della luce visibile, che non può quindi raggiungerli per essere riflessa o raggiungere l'osservatore per essere vista. Si intendono qui, ovviamente, vincoli che non possono essere in alcun modo rimossi, almeno sulla base delle conoscenze attuali e delle tecnologie disponibili (come ad esempio caso degli strati esterni del pianeta Terra o una nube interstellare).

In questo caso, l'unico modo per visualizzare l'oggetto di studio è costruirne un modello visibile a partire da osservazioni indirette e/o calcoli teorici per poi ricostruirlo attraverso le tecniche di computer grafica.

### **3.1 L'analogia con il visibile: le belle immagini che non comunicano**

Le rappresentazioni in falsi colori di dati empirici (in questo senso concreti) fisicamente non accessibili alla vista sono esempi di visualizzazione particolarmente interessanti. Sulla base della nostra classificazione, si tratta di visualizzazioni di dati concreti in cui la densità figurativa è molto alta. In particolare, ci concentreremo su alcuni esempi di visualizzazioni di caratteristiche fisiche o onde elettromagnetiche non visibili realizzate in chiara analogia con la realtà visibile.

Si tratta di rappresentazioni la cui natura è fortemente *arbitraria*, perché la scelta dei colori, essendo "falsi", non è legata a vincoli di corrispondenza "per somiglianza" all'oggetto rappresentato e in particolare ai colori reali dell'oggetto (che non esistono in quanto qualità percettibili all'occhio umano o a strumenti analoghi). I colori sono un parametro variabile che

---

<sup>58</sup> Le onde elettromagnetiche interagiscono con oggetti che hanno circa le dimensioni della loro lunghezza d'onda. Nel caso della luce, la lunghezza d'onda più piccola è quella relativa al colore rosso, circa 380-400 nm. Oggetti più piccoli di questo valore sono trasparenti alla luce perché non possono interagirvi: è come se ne fossero "scavalcati".

<sup>59</sup> Alcuni esempi di microscopi che non usano la luce sono: i microscopi elettronici (a scansione o trasmissione), che usano fasci di elettroni e i microscopi a scansione di sonda, che utilizzano "punte" di dimensioni dell'ordine di quelle degli oggetti osservati.

potrebbe in realtà essere sostituito da qualsiasi parametro percettibile che abbia la stessa flessibilità e capacità di rappresentare, in base ad una scala di valori arbitraria appunto, la variazione del parametro fisico che si vuole rappresentare.

La chiave interpretativa del problema che stiamo studiando è proprio questa: quando la visualizzazione in falsi colori rappresenta oggetti fisicamente non visibili, non è possibile il confronto con il reale, quindi quello che può succedere è che la visione dell'oggetto (impossibile) sia non solo confusa ma addirittura sostituita (nella percezione del fruitore) dalla rappresentazione visiva. Il che significa che l'oggetto rappresentato, anche se fisicamente invisibile, acquisirà nella percezione dei fruitori l'aspetto delle immagini che di quell'oggetto sono disponibili. Più il codice è sottinteso, cioè meno è esplicito, più facilmente l'immagine sarà identificata in tutto e per tutto con la natura dell'oggetto.

Non è detto che questo sia in sé un problema, perché un'immagine mentale non può essere errata (soprattutto se non esiste una "corrigere" oggettiva). Il punto è che se il codice sulla base del quale la visualizzazione è stata costruita non è manifesto, la comunicazione stessa del messaggio e delle informazioni contenute nella rappresentazione visuale rischia di fallire.

The great game of science is modeling the real world, and each scientific theory lays down a system of rules for playing the game. The object of the game is to construct valid models of real objects and processes. Such models comprise the core of scientific knowledge. To understand science is to know how scientific models are constructed and validated. The main objective of science instruction should therefore be to teach the modeling game<sup>60</sup>.

Infine, la somiglianza con il reale, oltre a rischiare di fuorviare il lettore, pone dei vincoli molto stretti di visualizzazione dei dati, che possono essere resi solo in forma di colori<sup>61</sup>, linee e posizione spaziale (proiettate in 2D, anche nel caso di simulazioni 3D, che comunque sfruttano i principi della proiezione).

#### **4. Contesti di utilizzo delle diverse rappresentazioni visuali**

Prima di analizzare alcuni esempi di visualizzazione dalla prospettiva appena esposta, proveremo a individuare alcune delle regole non scritte che in alcuni casi governano la comunicazione (in termini di intenzioni degli autori e di percezione dei fruitori) e quindi anche l'uso di immagini in ambito scientifico.

---

<sup>60</sup> D. Hestenes, *Modeling games in the Newtonian World*, Am. J. Phys. Vol.60, p.732-748, 1992

<sup>61</sup> E quindi delle tre caratteristiche fisiche del colore, in tonalità, saturazione e luminosità.

Distinguiamo nettamente due contesti di utilizzo di immagini per la comunicazione della scienza: quello accademico e quello pubblico, che sono storicamente caratterizzati da diverse intenzioni da parte del mittente e da diverse attitudini e feedback dei destinatari.

Questo ci porterà a individuare, tra le rappresentazioni visuali che abbiamo catalogato nei paragrafi precedenti, alcune immagini tipiche di un certo tipo di comunicazione e altre prevalentemente utilizzate in altri ambiti.

#### **4.1 Le belle immagini e quelle “difficili”**

Nel caso della comunicazione *peer to peer* in ambito accademico, le immagini sono utilizzate principalmente con l'intento di veicolare informazioni: l'autore di una ricerca rappresenta in forma visuale dati o simulazioni numeriche legate al suo lavoro, con un intento descrittivo, in modo da facilitarne la valutazione ai colleghi oppure sottolinearne alcuni aspetti che risultano chiari a valle di una specifica scelta di rappresentazione.

Succede che l'uso di strumenti ritenuti troppo facilmente accessibili sia considerato svilente o addirittura offensivo nei confronti delle capacità intellettuali degli uditori, se questi sono pari dell'autore della ricerca. E purtroppo questo atteggiamento si rivela talora giustificato dal riscontro nel pubblico di colleghi, indisposto da un'esposizione ritenuta forse ridondante e ostentata.

E questo può portare l'autore (che lui stesso ragiona come il suo pubblico) a sottovalutare già in partenza strumenti in realtà molto efficaci, come alcune rese visuali o metafore che, indipendentemente dalla preparazione dell'uditorio, potrebbero aiutare a costruire un'attitudine anche solo emotivamente più coinvolta nei confronti della materia esposta.

È interessante notare come gli scienziati si comportino diversamente in periodi di grandi cambiamenti dei paradigmi di ricerca. Un esempio particolarmente emblematico è quello dei primi sviluppi della teoria quantistica, periodo nel quale le accese discussioni fra i fisici più illustri e stimati utilizzavano strumenti metaforici che oggi verrebbero definiti puramente didattici o divulgativi.

Nel caso del pubblico non specialista infatti, come lo stesso termine “divulgazione” sottolinea, l'obiettivo è proprio abbassare il livello di difficoltà di comprensione di una conoscenza consolidata, quindi ben vengano tutti gli ausili del caso.

Per questo motivo le belle immagini della scienza (così come le belle metafore), quelle ritenute più efficaci e immediate, hanno spesso trovato maggior fortuna presso un pubblico di non esperti che negli ambiti di comunicazione accademica, tra pari, dove molto hanno dovuto competere con le rappresentazioni più simboliche e astratte, quindi più difficili da

interpretare. Per lo stesso motivo, nella comunicazione verso il pubblico gli scienziati fanno minor uso delle rappresentazioni simboliche, tipo diagrammi e grafici, ritenute difficili e poco affascinanti.

Ancora, nel già citato *Visual imagery in school science texts*, Martins fa esplicito riferimento al fatto che le immagini sono usate per “semplificare il discorso” in ambito di comunicazione scientifica rivolta a un pubblico di non esperti.

Not only are images crucial to the conceptualization of scientific ideas, they are also considered to be powerful aids to communicate specialist knowledge to audiences of non experts. In fact a great deal of the difficulties experienced by nonspecialists are linked to the so-called language of science. [...] An assumption frequently made, though seldom formally articulated, is that the visual is more transparent a medium than language. Thus images are usually employed to bypass some of the difficulties incurred when communicating science through the verbal mode<sup>62</sup>.

Le motivazioni di questo complesso gioco delle parti sono discusse in moltissimi studi sulla comunicazione della scienza, dalla “torre d’avorio” in cui gli scienziati del XIX secolo ritenevano di posizionarsi rispetto al resto del mondo, attraverso il modello *Public Understanding of Science* del 1985<sup>63</sup> e successivamente quello del *Public Engagement with Science and Technology* del 2002<sup>64</sup> fino agli studi più recenti in cui si discute il coinvolgimento della popolazione tutta in merito ai risultati di ricerche scientifiche<sup>65</sup>.

In particolare, l’aspetto visivo della comunicazione della scienza è cambiato radicalmente negli ultimi 30 anni, complice l’avvento di internet e la nascita dei blog. Un esempio davvero imponente sono i blog *tumblr* su argomenti scientifici<sup>66</sup>. Quasi tutti riportano in vista notizie sugli autori dei blog, che sono spesso giovani ricercatori, laureandi, dottorandi che raccontano di scienza e in alcuni casi di sé stessi che fanno scienza o del loro personale approccio alla ricerca, con l’intento (spesso dichiarato) di appassionare altri giovani e mostrare che fare scienza “non è da nerd”. In questi contesti, l’uso delle immagini è dominante e ha intento più spesso emotivo/decorativo che informativo in sé.

---

<sup>62</sup> I. Martins, *cit.*, p.74.

<sup>63</sup> W. F. Bodmer et al, *The public understanding of science*, conosciuto come “rapporto Bodmer”, stilato da alcuni scienziati della Royal Society in Inghilterra per sollecitare la comunicazione verso il pubblico. [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/1985/10700.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/1985/10700.pdf)

<sup>64</sup> AA.VV., *From PUS to PEST*, Science, 298, 2002, p.49.

<sup>65</sup> E in merito alle scelte sociali che ne derivano. Sulla scienza partecipata esiste un’ampia letteratura. Un esempio è il testo *Scienza & Democrazia* (tratto dall’omonima rubrica di Tuttoscienze-LaStampa), a cura di G. Beccaria e A. Grignolio, La Stampa 40K, 2015.

([https://books.google.it/books?id=TeZ\\_CgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=it#v=onepage&q&f=false](https://books.google.it/books?id=TeZ_CgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=it#v=onepage&q&f=false)).

<sup>66</sup> <https://www.tumblr.com/spotlight/science>. Si contano 66 blog scientifici al tempo della stesura di questa tesi.

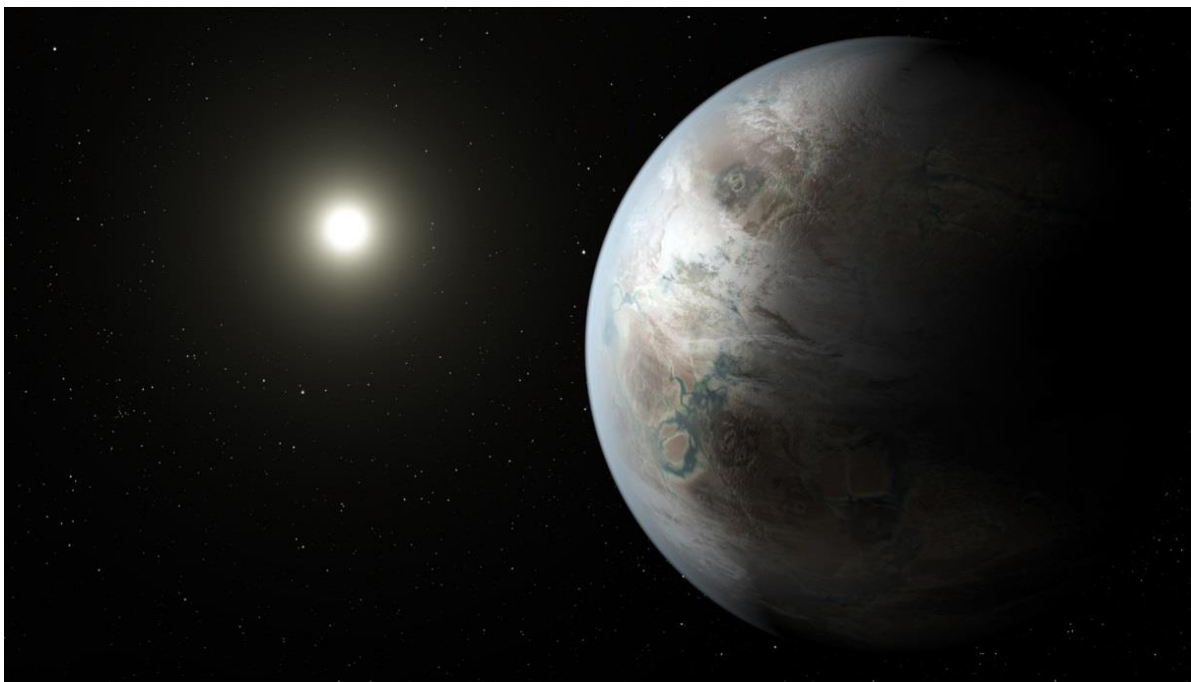


Un altro esempio che troviamo molto interessante è quello del *NASA scientific visualization studio*, la cui *mission* (dichiarata sul sito) è la seguente:

The Scientific Visualization Studio wants you to learn about NASA programs through visualization. The SVS works closely with scientists in the creation of visualizations, animations, and images in order to promote a greater understanding of Earth and Space Science research activities at NASA and within the academic research community supported by NASA.

All the visualizations created by the SVS (currently totalling over 5,500) are accessible to you through this web site, and free to download!<sup>67</sup>

Qui si trovano pubblicate, tra le altre, molte news riferite al satellite Kepler, in orbita dal 2009 per l'osservazione di "esopianeti", pianeti in sistemi stellari esterni al nostro. Moltissime visualizzazioni dei pianeti scoperti da Kepler sono state prodotte dal suo lancio: l'ultima, e forse la più famosa, è quella del pianeta Kepler 452B (Figura 8), annunciato con entusiasmo dalla NASA il 23 luglio 2015 come probabile "pianeta gemello" della Terra.



**Figura 8** Kepler452B, il "pianeta gemello".

La notizia (corredata di immagine) ha fatto il giro del mondo, è stata ripresa da moltissimi media ed è stata salutata come una scoperta leggendaria (forse anche per l'enfasi esibita dalla stessa Agenzia Spaziale).

Il punto è che l'immagine che illustra il pianeta Kepler 452B non sempre risulta corredata dalla sua didascalia originale: "This artist's concept depicts one possible appearance of the

---

<sup>67</sup> <http://svs.gsfc.nasa.gov/index.html>

planet Kepler-452b, the first near-Earth-size world to be found in the habitable zone of star that is similar to our sun”. Si tratta quindi di una *visione artistica che raffigura uno dei possibili aspetti che il pianeta potrebbe avere*. I dati osservati dal satellite sono relativi alla sua massa e alla posizione rispetto alla stella, non se ne conosce la composizione fisica e tantomeno l’aspetto reale. Non è una foto, ma come tale è stata interpretata da moltissimi utenti.

A questo proposito, nel caso della comunicazione rivolta al pubblico c’è un’ulteriore distinzione da fare, tra le due principali metodologie della comunicazione scientifica rivolta al pubblico e sui loro diversi scopi. Proviamo a descriverle usando le parole degli autori del già citato *The Psychology of Science Text Comprehension*, che descrivono in modo molto preciso le intenzioni di chi crea i contenuti della comunicazione scientifica. In particolare, nel dare un significato all’espressione “popularizing science for the general public” scrivono:

We distinguish two functions of popularizations: raising public awareness of scientific information and increasing public understanding of scientific information. Different genres meet these needs [...]. *Raising public awareness* occurs largely through the media, including the Internet.[...] They are generally “reduced” reports of information published in scientific outlets but they conform to journalistic conventions for news reporting. [...] The intent of these articles is typically to inform a general audience rather than to persuade a community of peers about the validity of the work. [...] Genres for *increasing public understanding* have a didactic or instructional intent. They differ from genres that raise awareness in that they attempt to support informal learning by providing information sufficient for the public to achieve an understanding of the scientific concepts, phenomena, or processes that are discussed<sup>68</sup>.

#### **4.2 Le immagini che spiegano e quelle che decorano**

Le diverse rappresentazioni, simboliche e realistiche, sono normalmente utilizzate in ambiti comunicativi differenti perché ritenute più o meno adatte a diversi tipi di pubblico. Questa distinzione fatta in base alle intenzioni degli autori si può però anche estendere alla percezione da parte dei lettori. Nel caso di studenti alle prese con testi di scienze, alcune immagini possono essere considerate più o meno scientifiche proprio in virtù del loro carattere più o meno astratto.

---

<sup>68</sup> *The Psychology of Science Text Comprehension*, a cura di Jose Otero, Jos. A. Leñn, Arthur C. Graesser, Routledge, 2014.

Images are perceived to perform different functions, from enlivening a text by illustrating a case to communicating actual knowledge that must be remembered and learned. The examples of “scientific” images given by pupils included line drawings and diagrams and excluded photographs and comic strips. In general images that are labeled nonscientific are usually those that contain humanized characters or high colors saturation, that is, images that did not have high scientific modality. Such perception may, in some cases, be dismissive of images that are not deemed scientific. However, that may lead to a failure in observing other possible intended functions for images apart from simply ‘making the book prettier’<sup>69</sup>.

Un esempio di questo tipo di approccio, riportato da Martins nella descrizione della sua sperimentazione con diverse classi delle scuole medie, è quello registrato in merito a una fotografia di un villaggio del Nord Europa, in cui si vede il Sole e la cui didascalia recita “mezzanotte a Spitsbergen”. L’immagine (una foto, quindi una rappresentazione densamente figurativa), che in potenza avrebbe potuto mostrare (e in parte già spiegare) un fenomeno fisico legato all’alternarsi delle stagioni attraverso un aspetto apparentemente paradossale della realtà, è stata invece spesso ignorata e considerata puro abbellimento al testo. Diverso è invece l’atteggiamento nei confronti dell’immagine (rappresentazione simbolica) in cui è schematizzata l’orbita della Terra intorno al Sole con le etichette “estate”, “inverno”, “perielio” e “afelio”, immagine da tutti ritenuta meritevole di attenzione, indagine e studio. Questo, secondo l’autrice, dipende anche dall’esperienza scolastica, da quello gli studenti hanno precedentemente appreso e da come le immagini sono state sempre usate per costruire informazione.

## **5. Esempi: uso e impatto delle visualizzazioni figurative (e verosimili) del non visibile**

Le visualizzazioni di cui noi ci occupiamo (falsi colori) sono usate sia in ambito di comunicazione accademica (con intento informativo), sia nella comunicazione verso il pubblico, con intento di coinvolgimento emotivo o di formazione.

Abbiamo visto come l’idea di base (culturale, contestuale ed esperienziale) che autore e lettore hanno della scienza o del tipo di visualizzazione usata può influenzare l’interpretazione sul ruolo e significato dell’immagine.

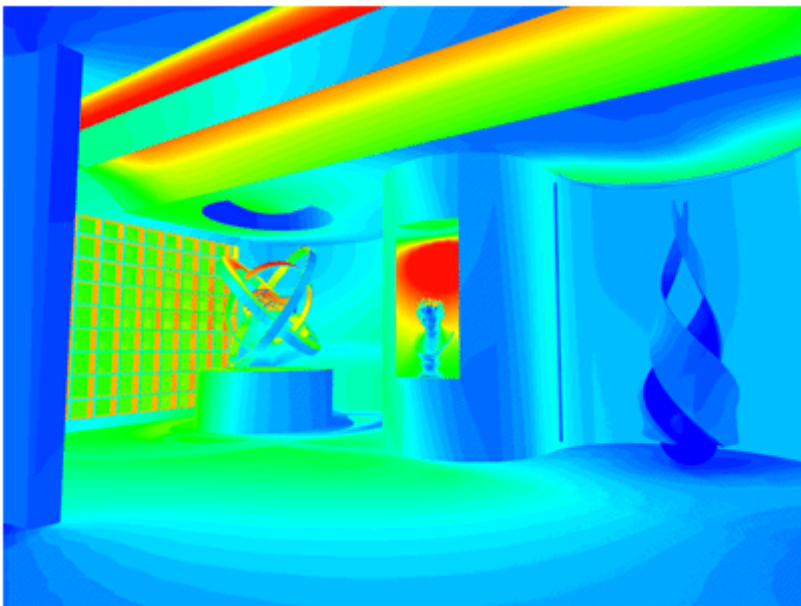
---

<sup>69</sup> I. Martins, *cit.*, p.78.

Come già sottolineato, nel caso delle immagini che rappresentano oggetti non visibili, di cui non può esistere memoria visuale derivata dall'esperienza diretta, quello che può succedere è che si inneschino processi di assimilazione con realtà conosciute (e viste) o, nel caso delle rese più figurative, che si individui un'analogia, non necessariamente guidata e spiegata, tra il significato dell'immagine e qualcosa di simile e conosciuto. Quando poi queste immagini entrano nell'uso comune, vanno a costituire esse stesse una sorta di memoria visuale, con la pericolosa scomparsa di quel sano atteggiamento di diffidenza e perplessità che aiuta a riconoscere l'esistenza di un codice rappresentativo.

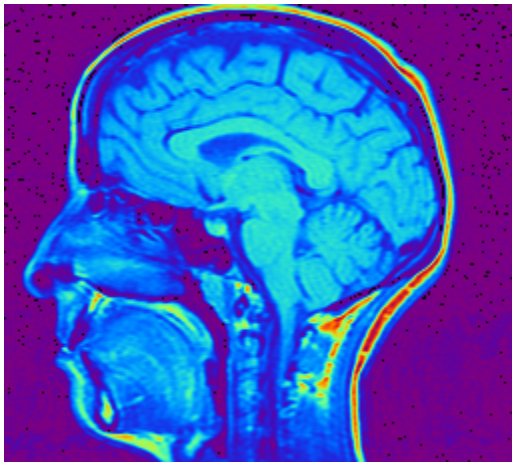
### 5.1 Falsi colori: il falso evidente, la bella imitazione e il falso d'autore

Le immagini in falsi colori sono usate per visualizzare onde elettromagnetiche non visibili all'occhio umano oppure, nel caso della variante cosiddetta *pseudocolori*, caratteristiche fisiche dell'oggetto studiato (pressione, temperatura), cioè caratteristiche intrinseche al sistema, misurabili e quantificabili. I colori che rappresentano il parametro scelto sono arbitrari, secondo una scala ritenuta la più efficace per mostrare similitudini e differenze: in Figura 9 ad esempio sono riportati i livelli di illuminazione di una stanza.



**Figura 9** Immagine in pseudocolori che rappresenta i livelli di illuminazione della sala espositiva di una mostra d'arte<sup>70</sup>.

<sup>70</sup> Fonte: [http://www.3dmax-tutorials.com/Pseudo\\_Color\\_Exposure\\_Control.html](http://www.3dmax-tutorials.com/Pseudo_Color_Exposure_Control.html)

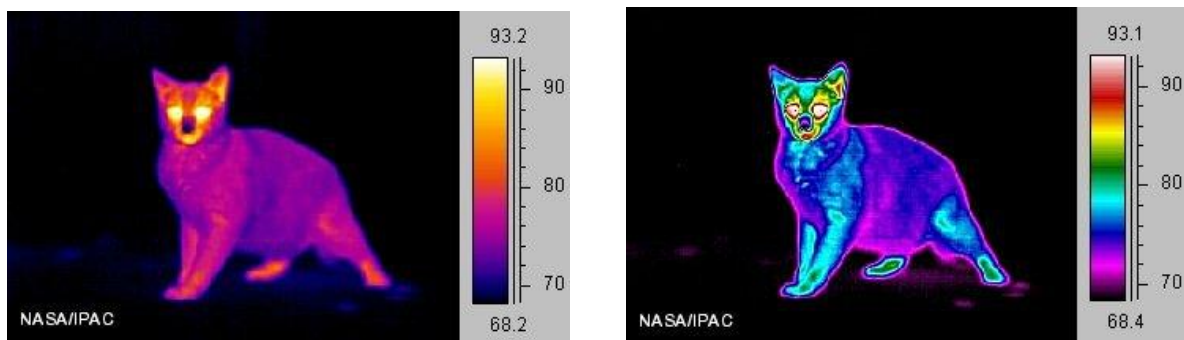


**Figura 10** Immagine in *pseudocolori* del risultato di una risonanza magnetica<sup>71</sup>.

Una delle tecniche di visualizzazione in falsi colori più utilizzata è quella con cui sono mostrati i risultati della risonanza magnetica nucleare (Figura 10)<sup>72</sup>.

Nei casi appena mostrati, la confusione in riferimento all'oggetto "reale" è poco probabile perché l'oggetto ha delle caratteristiche fisiche che l'occhio e la memoria umana sono in grado di riconoscere e ricondurre a un'esperienza visiva precedente alla visualizzazione di queste immagini. Queste rappresentazioni facilmente appariranno come "versioni inusuali" di una stanza e di un cranio umano, per niente somiglianti alla realtà.

Un altro esempio di *falso evidente* sono le immagini in falsi colori che mostrano l'emissione a infrarossi di un corpo conosciuto nell'esperienza comune, ad esempio un gatto (Figura 11).



**Figura 11** Due esempi di visualizzazione dell'emissione infrarossa di un gatto<sup>73</sup>.

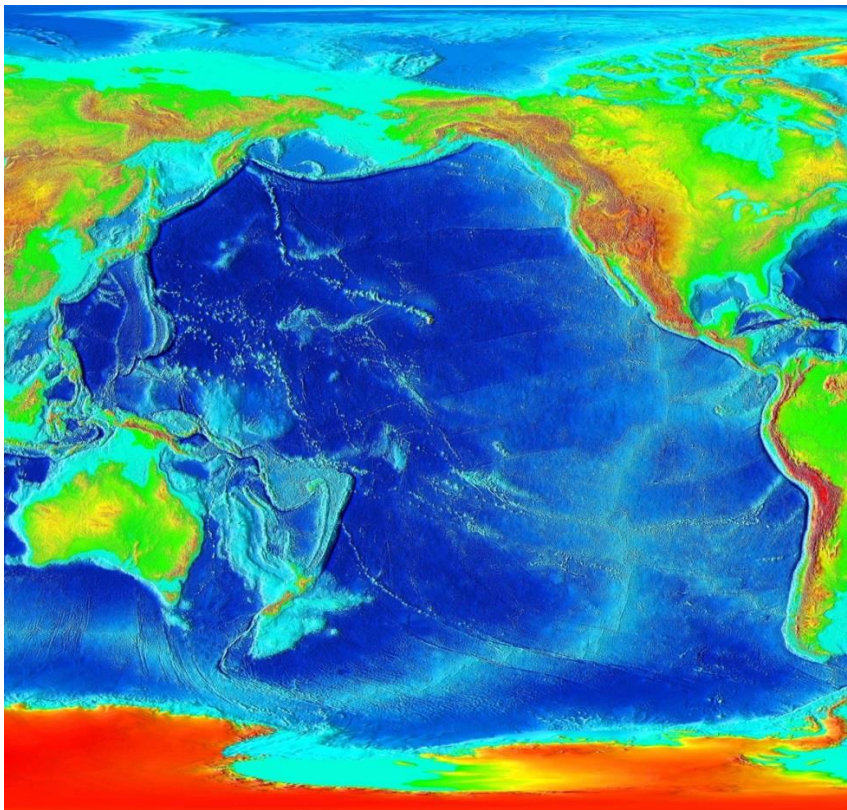
<sup>71</sup> Fonte: <http://www.ft.unicamp.br/docentes/magic/khoros/html-dip/c4/s10/front-page.html>

<sup>72</sup> La RMN è una tecnica diagnostica non invasiva che misura come la rotazione dei protoni all'interno dei nuclei degli atomi varia se un corpo è inserito in un campo magnetico di opportuna frequenza.

<sup>73</sup> Le due immagini qui riportate illustrano anche il concetto di arbitrarietà della scala di colori, che può essere cambiata nei limiti e negli intervalli di intensità rappresentati, per meglio mostrare le variazioni del parametro mostrato. Fonte: [http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/image\\_galleries/ir\\_zoo/cat.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/image_galleries/ir_zoo/cat.html)

Queste sono le rappresentazioni in cui il codice non necessita di essere dichiarato, anche se è comunque necessario spiegarlo per garantirne l'efficacia in termini di trasferimento di informazioni (qual è il parametro rappresentato, cosa significano i diversi colori).

In altri casi il codice, per essere efficace, non può essere sottointeso perché, essendo molto ben mimetizzato, rischia di essere “trasparente” all'osservatore, che può non coglierne le caratteristiche informative, quelle per cui è stato costruito. Un esempio è la mappa dell'Oceano Pacifico riportata in Figura 12, in cui i diversi colori rappresentano diverse quote (sotto e sopra il livello del mare).



**Figura 12** Mappa in pseudo colori dell'elevazione sul pacifico<sup>74</sup>: i colori rappresentano le diverse altezze/profondità.

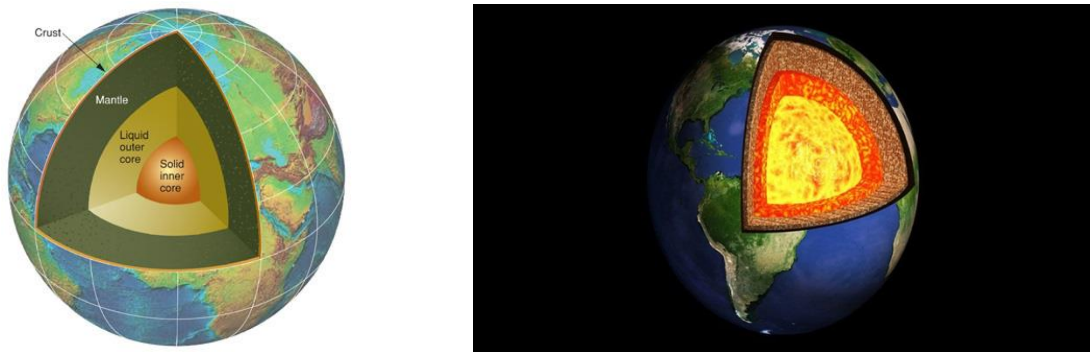
La scala di colori scelta, dal blu scuro per il mare profondo al marrone scuro per le montagne più alte, fa sembrare l'immagine, a un primo colpo d'occhio, molto simile a una foto da satellite, abbastanza verosimile (a parte forse nella parte inferiore dell'immagine) da non fermarsi a cercare di capire cosa il codice iconico vuole qui rappresentare e se ci sono differenze rispetto a un'immagine reale. Si tratta qui di una *bella imitazione* della realtà, piuttosto che di visualizzazione dell'invisibile, perché l'estrema somiglianza con l'esperienza visiva reale fa passare in secondo piano il valore informativo della visualizzazione.

---

<sup>74</sup> Fonte: ETOPO2v2, un database digitale creato dal World Data Center for Geophysics & Marine Geology (Boulder, CO), National Geophysical Data Center, NOAA.

Altre rappresentazioni con chiaro intento di verosimiglianza sono quelle di oggetti che non sono mai stati visti, dei quali non esiste quindi una memoria visiva legata all'esperienza diretta. Si tratta di visualizzazioni di parametri fisici legati al sistema rappresentato ma non ricavati da osservazione diretta. Sono le *artist impression* di realtà fisiche illustrate a partire da modelli più o meno precisi e dettagliati. Ne è un esempio l'immagine di Kepler 452B (già citato nel paragrafo precedente) di cui non si conoscono composizione e aspetto, raffigurato come una Terra in falsi colori.

Esempi forse ancora più familiari (perché presenti in moltissimi testi scolastici) sono le immagini che raffigurano gli strati interni del nostro pianeta, la cui struttura può essere ricostruita, data l'impossibilità di esplorazione e misurazione diretta, solo attraverso modelli matematici, poi rappresentati in forma più o meno figurativa o simbolica (vedi i due esempi in Figura 13).



**Figura 13** Schematizzazione<sup>75</sup> (a sinistra) e *artist impression*<sup>76</sup> (a destra) della conformazione interna della Terra.

L'attenzione alla verosimiglianza aggiunge certo valore estetico ma, in molti casi, a scapito del rigore e soprattutto dell'efficacia della rappresentazione, dal punto di vista della comunicazione del contenuto scientifico.

Un aspetto che vale la pena di notare è la presenza di etichette, molto comuni nelle rappresentazioni più simboliche e grafiche e quasi sempre assenti in quelle molto figurative.

## 5.2 Immagini di mondi lontani

Le immagini dell'Universo hanno impatto molto radicato nella nostra cultura visuale. Dal 1990, anno del lancio del telescopio spaziale Hubble, tutti hanno visto almeno una spettacolare visualizzazione di un oggetto celeste.

<sup>75</sup> Fonte: Lawrence Livermore National Labs.

<sup>76</sup> Fonte: <http://www.indiscoveries.com/science/what-is-inside-the-earth>

Non tutti però sanno che tutte le immagini astronomiche mostrate nei telegiornali sono in falsi colori, anche quelle ottiche.

Those Hubble photos you love? They lie. But those lies tell the true story of what exists in the cosmos. [...] To create a color image, black and white images taken through different filters are then colorized and combined to produce a color image. With the right care it's possible to create an image which closely approximates a "true color" image. But often the resulting image doesn't accurately represent the real colors of the night, and often this is done intentionally. It's sometimes referred to as the *National Geographic effect*. [...] There are some who would argue that these enhanced images misrepresent reality in a way that runs counter to scientific accuracy. Shouldn't we be honest and strive for accurate images rather than color-hyped photographs that are more art than science?

While there's a case to be made for accuracy, in some ways a color-hyped image is more accurate to what we perceive, even if it isn't accurate to reality. By changing the contrast on these images, we can visually perceive details that would be washed out if we insisted on "true color" all the time<sup>77</sup>.

When you look at the amazing pictures captured by Hubble, or the Mars Exploration Rovers, do you ever wonder: is that what you'd really see with your own eyes? The answer, sadly, is probably not. In some cases, such as with the Mars rovers, scientists try and calibrate the rovers to see in "true color," but mostly, colors are chosen to yield the most science<sup>78</sup>.

Non si tratta quindi di immagini reali, ma neanche necessariamente errate o fuorvianti perché, come già osservato, non portano a concezioni fuorvianti della realtà vera, quella che deriva dall'esperienza diretta, perché esperienza vera su questi oggetti non può essere fatta.

Il danno maggiore che si può rilevare in questi casi è sempre lo stesso: il fatto che i falsi colori dell'immagine non siano esplicitati<sup>79</sup> porta a non chiedersi necessariamente perché sia stato scelto di usarli e cosa stanno a rappresentare.

---

<sup>77</sup> <https://medium.com/starts-with-a-bang/the-illusion-of-reality-7456385d2313>

<sup>78</sup> <http://www.universetoday.com/11863/true-or-false-color-the-art-of-extraterrestrial-photography/>

<sup>79</sup> Lo sono in pochissimi casi e quelli sono da notare, come nel testo, a corredo dell'immagine di M51 a pag. 35 del già citato *Le immagini della scienza* di J. D. Barrow, dove si legge "qui vediamo, l'una accanto all'altra, un'immagine in luce visibile, molto vicina alla gamma di sensibilità dell'occhio umano". Nella nota a questa frase sono anche citate le frequenze dello spettro elettromagnetico effettivamente rappresentate nell'immagine.



### 5.3 Le immagini del nanomondo: analogie con l'esperienza visuale

Le visualizzazioni dei risultati di osservazioni con microscopi di nuova generazione (quelli che usano principi diversi dalla visione ottica) hanno trascorsi più brevi nella comunicazione della scienza e non sono ancora “entrate nell'immaginario collettivo”, cioè non fanno ancora parte della nostra memoria visuale.

Citiamo qui lo studio *Visitors' Interpretations of Images of the Nanoscale*, condotto con visitatori dell'Exploratorium di San Francisco<sup>80</sup> con l'intento di capire che cosa il pubblico vuole o si aspetta di sapere a proposito delle immagini del nanomondo.

The findings from this study can inform the type of accompanying interpretation we provide to help people make sense of scientific images generated with these instruments<sup>81</sup>.

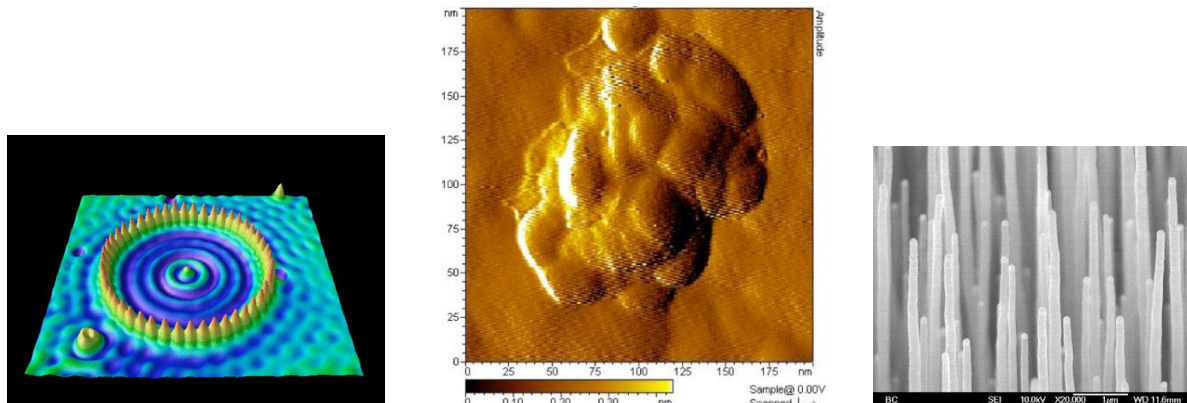
L'obiettivo era quindi anche quello di capire in che modo e in che termini si possa rendere più efficace la fruizione di questo tipo di visualizzazione.

Lo studio consisteva di una serie di brevi interviste che avevano come spunto le tre immagini in Figura 14, ottenute con tre diversi tipi di microscopi, tutti non ottici, quindi basati su principi di funzionamento che sfruttano comportamenti della materia a livello atomico e subatomico per ottenere i dati tramite cui poi si ricostruisce la visualizzazione.

---

<sup>80</sup> Il primo *science centre*, in cui sono state teorizzate anche molto delle pratiche di *edutainment* (intrattenimento misto a formazione) ed *evaluation* di esposizioni museali.

<sup>81</sup> [http://www.exploratorium.edu/vre/pdf/afm\\_rp\\_03.pdf](http://www.exploratorium.edu/vre/pdf/afm_rp_03.pdf), Joyce Ma, July 2008.



**Figura 14** Immagini ottenute con Microscopio a effetto tunnel - STM (a sinistra), a Forza Atomica - AFM (al centro) e Elettronico a Scansione - SEM (a destra). le prime due sono in falsi colori e la terza in scala di grigi.

Uno dei risultati per noi più interessanti di questo studio è che molti visitatori, senza avere informazioni sulle immagini, le hanno ricondotte a qualcosa di familiare, parlando di “forme”, “schemi”, “colori”, secondo loro riconoscibili nell’immagine. L’autrice dello studio scrive infatti:

We speculate that this tendency to look for the familiar may lead to misinterpretations particularly when a nanoscale sample superficially resembles a more familiar macroscale object. This, in turn, may mean that such images require special attention in conveying what the image actually represents<sup>82</sup>.

I visitatori hanno inoltre mostrato di faticare a porre in scala, con il macroscopico e tra loro, le immagini osservate.

That is; the visiting public can have trouble estimating the size of the subject of these visualizations, even those that have become iconic in nanoscale science<sup>83</sup>.

I falsi colori sono spesso interpretati come rappresentativi della temperatura (anche se non era quello il loro significato)<sup>84</sup>.

This suggests that color should be used with discretion, and selecting color maps requires careful consideration of the possible (mis)interpretations they foster. We may also need to inform visitors that the colors are artificial and provide them with guidance on how to read the false color that are applied<sup>85</sup>.

<sup>82</sup> Ibidem.

<sup>83</sup> Ibidem.

<sup>84</sup> Questo è interessante perché mostra come le immagini in falsi colori prodotte come visualizzazione di dati da termocamera a infrarossi (tipo quelle usate per i visori notturni) sono tra le rappresentazioni dell’invisibile più familiari al pubblico non esperto.

<sup>85</sup> Ibidem.

L'autrice dello studio conclude che sia necessario rendere le rappresentazioni visuali del nanomondo più chiare e significative, soprattutto per chi non ne ha familiarità, che bisogna inserire l'immagine in un contesto più ampio e che sia opportuno dare informazioni su come l'immagine è stata creata, cioè proprio sul codice di cui abbiamo finora parlato.

Nella nostra trattazione, questo sono gli esempi più evidenti di testi *plastici*, vale a dire rappresentazioni che non hanno legami diretti con la realtà, nelle quali l'unica cosa che può essere appresa dal punto di vista figurativo è l'entità degli elementi dell'immagine.

Il problema in questo caso non è quindi la confusione tra oggetto reale e sua rappresentazione, ma l'interpretazione completamente errata sia del contenuto che delle motivazioni della rappresentazione. Si tratta di un problema complesso che può essere risolto solo attraverso l'esplicitazione del codice. In prima battuta però, ridurre al minimo la densità figurativa dell'immagine (quindi farla diventare una rappresentazione puramente plastica) potrebbe aiutare a limitare la confusione con il reale<sup>86</sup>.

### **Conclusioni: i vantaggi dell'esplicitazione del codice**

Il ruolo e l'efficacia delle visualizzazioni nella comunicazione sono molto influenzate dal codice semiotico, cioè dal contesto in cui il significante (le caratteristiche dell'immagine) assume significato (tipicamente, l'informazione che l'autore ha ritenuto di "inserire" nella rappresentazione visuale). Questo codice non è universale o naturale, ma dipende dai contesti e dagli schemi culturali, sia in fase di creazione dell'immagine che in fase di lettura e interpretazione, quindi deve essere conosciuto e comune sia al mittente che al destinatario della comunicazione. Questo è sicuramente vero nel caso della comunicazione scientifica che, come tutti gli ambiti specialistici, è caratterizzata da un evidente divario in termini di competenze lessicali e inferenziali di chi le immagini le produce per comunicare qualcosa e di chi ne fruisce, il che può portare al fallimento dell'atto comunicativo.

In ambito di comunicazione scientifica, il codice deve essere appreso da entrambe le parti, nel senso che è necessario sia un uso che una fruizione consapevole.

Il detto comune "un'immagine vale più di mille parole" nel caso di visualizzazioni di dati scientifici diventa piuttosto "mille parole servono a un'immagine", per permettere al lettore di costruire il relativo contratto di lettura e poterla quindi contestualizzare, interpretare e associare al suo significato, cioè al risultato di una misura o a un modello scientifico. Quando

---

<sup>86</sup> Sul tema dell'uso di immagini per la visualizzazione del nanomondo, si veda anche l'approfondimento nel paragrafo 2.1 del secondo capitolo di questa tesi.

questo non è consapevole nelle intenzioni di chi ha prodotto l'immagine, questa può divenire un ostacolo o quantomeno una distrazione dal contenuto della comunicazione.

La fisica studia la realtà, ma non può farlo se non costruendo dei modelli ideali, cioè dei significanti che da subito dovrebbero essere dichiarati come tali per non essere confusi con l'oggetto della rappresentazione. Nel caso di rappresentazioni arbitrarie e simboliche, questa consapevolezza è necessaria a costruire le dovute relazioni tra l'astratto (la rappresentazione) e il concreto (oggetto di studio reale). Nel caso di rappresentazioni figurative, la dichiarazione dell'esistenza di un codice rappresentativo è invece indispensabile a evidenziare l'astrazione, che è mimetizzata da osservazione diretta (come nel caso dei falsi colori che "imitano" quelli veri). Senza coscienza del codice, il modello rappresentativo perde almeno in parte la sua efficacia di modello scientifico.

Le immagini realistiche (e belle) hanno un impatto cognitivo ed emotivo insostituibile: devono essere usate, ma particolare attenzione deve essere prestata affinché l'analogia con la realtà non diventi a sua volta un limite. Quando si inseriscono dei dati quantitativi all'interno di una visualizzazione figurativa, si è obbligati a seguire delle regole, nel senso che i parametri per la rappresentazione sono necessariamente limitati: le tre direzioni spaziali e le caratteristiche fisiche dei colori. In una rappresentazione meno figurativa e più arbitraria si hanno a disposizione molti più parametri significanti, tutti quelli che non hanno vincoli di somiglianza con la realtà. Si può banalmente etichettare un settore dell'immagine con del testo, ad esempio, oppure scegliere di usare i colori su una mappa celeste per evidenziare oggetti più vicini o più lontani, ecc.

Riteniamo infine che, nel caso specifico di rappresentazioni visuali della realtà non visibile, la resa in forma figurativa sia una scelta opinabile, che rischia di essere limitante, non efficace o addirittura fuorviante.

## Cap 2: Rappresentazioni alternative o complementari a quelle visuali

### Introduzione

Nel primo capitolo di questa tesi ci siamo occupati di *immagini*, cioè, dal punto di vista semiotico, di testi figurativi prevalentemente visuali.

I testi di cui ci occuperemo nel corso di questo capitolo sono più in generale “sensoriali”.

Prima di analizzare le rappresentazioni sensoriali che fanno uso di sensi diversi dalla vista, cercheremo di contestualizzarle e di comprendere le motivazioni del loro impatto molto contenuto rispetto a quello delle rappresentazioni visuali, in riferimento a un quadro culturale generale in cui gli occhi sono la finestra principale attraverso cui si raccolgono informazioni.

Presenteremo poi alcuni esempi di rappresentazioni “mono-sensoriali” in ambiti qualunque (non necessariamente di comunicazione scientifica): diversi sono i casi di sperimentazioni pensate per non vedenti. Introduremo il concetto di *sinestesia* come tecnica di rappresentazione multisensoriale e infine analizzeremo alcuni esempi di rappresentazioni utilizzate in ambito scientifico, con l’obiettivo di individuare potenzialità specifiche e funzioni delle rappresentazioni multisensoriali non visuali.

### 1. Il più usato dei sensi

I nostri cinque sensi cominciano a lavorare tutti alacremenente sin dalle nostre prime ore di vita<sup>1</sup>. Già da neonati (nel caso di normalità di funzionamento degli organi sensoriali) riceviamo stimoli sensoriali visivi, uditivi, gustativi, tattili e olfattivi<sup>2</sup>. Tutti contribuiscono a creare le nostre percezioni, secondo meccanismi che si affinano con il passare dei mesi in modo da percepire correttamente, comprendere e interpretare i segnali sensibili del mondo reale. Dal punto di vista dell’evoluzione umana, i cinque sensi sono tutti necessari per la sopravvivenza e utili per interagire con il mondo.

---

<sup>1</sup> Non ci interessiamo qui delle teorie *innatiste* o *empiriste* sulla percezione o delle controversie tra psicologia *ecologica* e *cognitiva* sulla relazione tra percezione e conoscenza. Per approfondimenti sull’argomento, si vedano, tra gli altri, *Fondamenti di Psicologia generale*, a cura di C. Del Miglio, 2002.

<sup>2</sup> Facciamo qui riferimento ai comuni “cinque sensi”, senza distinguere tra sensibilità generale (somatica e viscerale) e sensibilità specifiche (olfatto, gusto, vista, udito ed equilibrio). Per approfondimento, vedere (tra gli altri) G. Tortora, B. Derrickson, *Conosciamo il corpo umano*, 2009.

Non è nostra intenzione addentrarci in speculazioni su quale sia il senso cui filosoficamente è attribuito il primato in termini metafisici e gnoseologici: faremo nel seguito solo un breve riferimento ad alcune concezioni che hanno contraddistinto, nella storia, l'interpretazione filosofica del ruolo dei cinque sensi per gli esseri umani.

Aristotele inizia così la sua opera *Metafisica*:

Per natura, tutti gli uomini desiderano vedere... perché la vista, tra i sensi, è quella che, presentando un maggior numero di differenze, ci fa conoscere di più<sup>3</sup>.

La vista è però anche il senso più illusorio, quello che più facilmente inganna: nonostante il citato incipit, lo stesso Aristotele non considera davvero la vista il senso centrale nella conoscenza. Più che altro, egli fa una distinzione funzionale tra i sensi: il tatto e il gusto (che è in realtà anch'esso una forma di tatto) esistono "in vista dell'essere", mentre la vista, l'udito e l'odorato sono "in vista del benessere". Ad esempio, attribuisce al tatto, nel *De anima*, il primato su tutti i sensi, affermando che "senza il tatto non può esserci animale" dal momento che "ogni corpo è tangibile".

E ancora, tra la vista e l'udito, Aristotele effettua una distinzione ancora pragmatica, affermando che se la vista appare migliore "in rapporto ai bisogni indispensabili", l'udito la supera "in rapporto all'intelligenza", perché soprattutto "il discorso è causa di istruzione". Sembrerebbe quindi che sia l'udito ad avere il primato "gnoseologico"<sup>4</sup>.

Si tratta di una concezione simile a quella sostenuta da molti studiosi dell'Ebraismo e della Bibbia, in merito al primato dell'udito rispetto alla vista nella cultura ebraica<sup>5</sup>, basata sull'oralità e quindi sulla trasmissione della conoscenza attraverso la voce umana, e quindi attraverso l'udito di chi deve apprendere.

Se non è univoco stabilire quale sia il senso più importante dal punto di vista conoscitivo (anche perché bisognerebbe definire dettagliatamente i processi che portano alla conoscenza, cosa che non è ovvia ancora oggi), si può almeno cercare di ipotizzare un primato fisiologico

---

<sup>3</sup> Aristotele, *Metafisica*, I.1, 980 a21-27, IV a.C.

<sup>4</sup> Cfr. S. Parigi, *Teoria e storia del problema di Molyneux*, 2004.

<sup>5</sup> Idea che ha la sua massima espressione nel cosiddetto *aniconismo*, rifiuto delle immagini. L'aniconismo fu negato nel Concilio di Nicea dal Cristianesimo, che divenne così la "religione dell'immagine, in quanto Dio si è mostrato e fatto vedere", differenziandosi radicalmente dalle due altre religioni monoteiste (ebraismo e musulmanesimo), considerate "religioni della parola, perché non accolgono l'incarnazione di Dio, il suo mostrarsi in carne e ossa." (cfr. U. Galimberti, *Orme del sacro*, 2000).

e, ancora più facilmente, uno culturale, riferito alla stimolazione esterna cui siamo soggetti come esseri umani.

Per quanto riguarda l'aspetto fisiologico, "più della metà dei recettori sensoriali del corpo umano è localizzata negli occhi e gran parte della corteccia cerebrale è impegnata a elaborare le informazioni visive"<sup>6</sup>. Da questo punto di vista, sembrerebbe dunque esserci una predominanza, almeno per quanto riguarda l'impegno speso dal nostro corpo nella gestione degli stimoli visivi.

Fra i cinque sensi, quello della vista è per l'uomo il più importante. Infatti è su ciò che vediamo, più che sulle altre percezioni, che si basa gran parte delle nostre azioni coscienti, e l'estensione delle aree cerebrali dedicate alla visione è molto più ampia di quelle dedicate agli altri sensi. La vista è per noi così fondamentale che, nel corso dell'evoluzione, si è sviluppata anche a scapito di altre capacità: i nostri antenati, infatti, l'hanno letteralmente 'barattata' con l'olfatto, perdendo alcuni geni della percezione degli odori e acquistandone altri, che hanno reso più completa la visione<sup>7</sup>.

Possiamo fare la stessa considerazione, anche se su basi meno oggettive, anche in ambito psicologico:

In psicologia l'aspetto della percezione più studiato e conosciuto concerne la percezione visiva ed esclusivamente a quest'ultima si farà riferimento. Il fatto di mettere fra parentesi non solo la sensibilità generale (somatica e viscerale), ma anche le sensibilità speciali acustica, vestibolare, olfattiva e gustativa, non significa affatto creare un'insanabile frattura fra dati biologici e dati psicologici, perché il soggetto della percezione visiva è e resta un organismo in contatto con l'ambiente dal quale attinge informazioni per agire e reagire<sup>8</sup>.

Dal punto di vista culturale infine, non è difficile osservare come la vista tra i cinque sensi sia il più sollecitato in termini di comunicazione e informazione. Si parla della nostra cultura in termini di *visual culture*:

Visual culture is concerned with visual events in which information, meaning or pleasure is sought by the consumer in an interface with visual technology. By visual technology, I mean any form of apparatus designed either to be looked at or to enhance natural vision, from oil painting to television and the Internet.[...]

---

<sup>6</sup> G. Tortora, B. Derrickson, *cit.*

<sup>7</sup> [http://www.treccani.it/enciclopedia/visione\\_\(Enciclopedia\\_dei\\_ragazzi\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/visione_(Enciclopedia_dei_ragazzi)/)

<sup>8</sup> C. Del Miglio, *cit.*, p.96.

In many ways, people in industrialized and post-industrial societies now live in visual cultures to an extent that seems to divide the present from the past<sup>9</sup>.

Cosa ancor più interessante per i nostri scopi, la vista è l'unico senso a essere promosso a rappresentare diffusamente anche segnali che non provengono dal mondo reale ma la cui comprensione prevede un'analogia (somiglianza) con il reale.

One of the most striking features of the new visual culture is the visualization of things that are not in themselves visual. Rather than myopically focusing on the visual to the exclusion of all other senses, as is often alleged, visual culture examines why modern and postmodern culture place such a premium on rendering experience in visual form<sup>10</sup>.

La tesi che sosteniamo è che questo tipo di scelta è molto vincolante e non è detto sia la migliore, soprattutto nel caso di rappresentazioni prodotte e utilizzate in ambito di comunicazione delle scienze moderne.

## 2. La scienza che non si vede

Molte delle scienze moderne non sono visuali. Il primo esempio che possiamo fare è forse il più eclatante: l'astronomia, o meglio, in termini moderni, l'*astrofisica*, cioè la scienza che studia la fisica degli oggetti celesti e dell'Universo in generale<sup>11</sup> è molto lontana dall'essere una scienza visuale. A tal proposito, ecco cosa scrive Bernhard Beck-Winchatz, astronomo, ideatore del progetto *Touch of the Universe*, un esempio di rappresentazione tattile usata in ambito di comunicazione scientifica, di cui parleremo più in dettaglio nei prossimi paragrafi:

When I started to work on *Touch the Universe - A NASA Braille Book of Astronomy*, I soon realized that there is a basic misconception about astronomy: Many people believe that it is a visual science. They think of an astronomer as someone who looks through a telescope, and takes notes on what he or she observes in the sky. This may have been the way Galileo conducted his observations almost 400 years ago, but modern astronomy is very different<sup>12</sup>.

L'articolo di Beck-Winchatz continua descrivendo qual è il vero lavoro dell'astronomo in epoca moderna: usa telescopi dotati di altissima risoluzione e camere digitali, che gli

---

<sup>9</sup> N. Mirzoeff, *The Visual Culture Reader*, 1998, p.3.

<sup>10</sup> N. Mirzoeff, *cit.*, 1998, p.6.

<sup>11</sup> La precisazione sulla nomenclatura deriva dall'errata comune interpretazione che l'astronomia studi ancora, come secoli fa, principalmente le nomenclature e le posizioni degli oggetti in cielo.

<sup>12</sup> B. Beck-Winchatz, *Can Blind People be Astronomers?*, 2002.



permettono di studiare più in dettaglio gli oggetti celesti, rispetto a quello che si faceva una volta tramite l'osservazione diretta con gli occhi umani. Queste camere digitali raccolgono la luce proveniente dagli oggetti celesti in modo elettronico, trasferiscono i dati raccolti a un computer che li processa usando software specializzati.

Astronomers use their eyes to read numbers, words, and sometimes graphs on the computer screen, but never as scientific instrument to make measurements.

There is nothing a blind person could not do as well<sup>13</sup>.

E questo se si parla di astronomia *ottica*, che oggi è solo una parte dello studio dell'Universo. Esistono telescopi in grado di rivelare la presenza di altre onde elettromagnetiche (onde radio, infrarossi, ultravioletti, raggi X e raggi gamma) che i nostri occhi non sono in grado di rivelare. In questo caso, gli strumenti usati per studiare l'Universo non solo potenziano, ma sostituiscono radicalmente l'occhio umano, che non sarebbe in grado di percepire in alcun modo la presenza di quel tipo di informazione. Come si può capire da queste riflessioni, si tratta davvero di una scienza tutt'altro che visuale. Eppure nel nostro immaginario, l'Universo è fatto di oggetti colorati e dettagliatissimi, in cui luci e ombre rivelano geometrie affascinanti: siamo davanti a una delle credenze più fuorvianti generate dalla visualizzazione scientifica usata per la comunicazione verso il pubblico.

In generale, gli strumenti di indagine scientifica moderna sono lontanissimi dall'essere delle protesi dell'occhio umano, perché funzionano con tecnologie sostanzialmente diverse da quella di un sistema ottico e, proprio in virtù di questa differenza, sono in grado di rivelare la natura fisica di oggetti che sarebbero altrimenti inaccessibili.

Un altro esempio sono le rappresentazioni del *micro* e *nanomondo*, cioè di oggetti di dimensioni troppo piccole per essere visti a occhio nudo (o con sistemi ottici analoghi all'occhio), che sono rivelati grazie a complessi processi di trasduzione del segnale, di cui la rappresentazione visuale è solo l'ultimo passaggio.

## **2.1 Estetica delle immagini scientifiche**

Come già sottolineato nel primo capitolo, la natura delle immagini prodotte in ambito di ricerca scientifica ha caratteristiche molto differenti a seconda del tipo di pubblico a cui queste sono destinate.

Nel caso della comunicazione tra pari, ad esempio, le immagini hanno tipicamente lo scopo di rendere chiaro il percorso e il risultato di uno studio, i dati quantitativi prodotti e le

---

<sup>13</sup> B. Beck-Winchatz, *Can Blind People be Astronomers?*, atti del convegno *Future Reflections*, 2002.

conclusioni sulla natura fisica degli oggetti studiati: raramente si tratta immagini “attraenti” dal punto di vista estetico. Tipicamente le rappresentazioni visuali usate in questi casi sono grafici astratti (simbolici) o immagini in cui la resa grafica, pur essendo curata, è secondaria, è “al servizio” della comunicazione dei dati che si vuole evidenziare. Si tratta di supporti informativi: ciò non vuol dire che l’aspetto estetico non è considerato, ma solo che può essere considerato secondario.

Ogni volta che il cerchio si allarga e che il pubblico, diventando più numeroso, diventa necessariamente meno specializzato sul tema della ricerca, le immagini diventano più importanti, e assumono ruoli sempre più centrali nell’attirare l’attenzione, prima ancora che nel comunicare informazioni. Questo avviene anche nel caso della comunicazione tra pari, rivolta a colleghi non specializzati nel campo della ricerca che si sta comunicando.

La misura di “spettacolarizzazione” dell’immagine raggiunge i suoi apici nella diffusione al grande pubblico, che non conosce i temi trattati e ha poco tempo a disposizione per comprenderne la portata e l’importanza. A questo livello di comunicazione, testi e immagini cambiano entrambi la loro funzione e quindi le loro caratteristiche: i testi scritti (o le parole) diventano più metaforici, evocativi, legati all’esperienza vissuta e le immagini diventano più verosimili, più figurative (nel senso di somiglianti al reale) e più belle. Questo processo porta quasi inevitabilmente a un impoverimento dei contenuti, che diventano più qualitativi e meno rigorosi, ma non necessariamente scorretti (anzi: in alcuni casi si applica una cura meticolosa alla veridicità della comunicazione): solo meno dettagliati. Si tratta di un meccanismo più che comprensibile e anche condivisibile se valutato nell’ambito dell’efficacia della comunicazione. Il punto è che, in alcuni casi, questo tipo di racconto perde, tra i particolari “zavorra” che si decide di eliminare, anche alcune informazioni basilari che sono invece sostanza imprescindibile della storia. Ad esempio si trascura il fatto che quello di cui si parla non sia raggiungibile o in alcun modo visibile e che le informazioni ottenute siano state possibili solo grazie a tecnologie avanzatissime e metodi di ricerca geniali.

Un esempio interessante di comunicazione delle informazioni provenienti dal mondo non visibile è la mostra *Blow-up – immagini del nanomondo*, nata nel 2006 da una collaborazione tra il gruppo di ricerca S3 del centro di ricerca in nanotecnologie di Modena e una fotografa, con l’intento di mostrare al pubblico le immagini prodotte dagli strumenti di ricerca usati dai ricercatori e condividere i risultati dei loro studi.

Il fatto che non sia materia percettibile, se non con particolari strumenti, è di certo uno dei motivi per cui queste rappresentazioni sono di solito così diverse

da quelle che ce ne facciamo nei laboratori: due “*immaginari*” che sembrano non poter comunicare. È questo uno dei motivi che ci ha spinto a mostrare in pubblico le immagini prodotte dai nostri strumenti, ingredienti primi del nostro immaginario di ricercatori<sup>14</sup>.

Si tratta di 64 immagini frutto di visualizzazione realizzata con microscopi non-ottici (ad esempio elettronici o a scansione di forza), ritoccate dalla fotografa, attraverso i normali strumenti di perfezionamento delle immagini, per ottenere una migliore resa estetica. Le immagini non sono nate come “adattamento alla realtà” o “finzione scenica”, come osserva Roald Hoffmann, cui è stata affidata la prima parte dell’introduzione al catalogo della mostra:

Le immagini che vedete qui non mirano a ingannarvi, o a colpirvi per la loro quotidianità e naturalezza. Sono state riprese in primo luogo per consentire agli scienziati di vedere delle informazioni, e in secondo luogo per comunicare ciò che avevano trovato ad altri scienziati. Nel passare sulla copertina di una rivista scientifica o di questo libro, sono evolute in oggetti estetici.(...)

Simulare la realtà per profitto, per rimescolarla, per ingannare, non è lo scopo dello scienziato. Quindi il naturalismo non è all’ordine del giorno<sup>15</sup>.

La somiglianza con la realtà, l’illusione e la quotidianità non sono nella natura di quelle immagini: dunque si può stare tranquilli. Ma allora perché sono state ritoccate? Dice Elisa Molinari, Direttrice del Gruppo di Ricerca da cui è partita l’idea della mostra, nell’introduzione al catalogo:

Prima di mostrare in pubblico il panorama dove ci muoviamo, abbiamo voluto metterne in luce gli aspetti più belli. Speravamo che questo sforzo avrebbe potuto aiutare noi stessi a vedere più e meglio, e a mostrare in maniera più efficace i nostri risultati anche agli addetti ai lavori, sulle riviste scientifiche internazionali o nei congressi. Ma ci serviva uno sguardo esterno, una competenza che non avevamo e abbiamo chiesto l’aiuto di Lucia Covi<sup>16</sup>.

E Lucia Covi, dal suo punto di vista:

Non è stato così scontato capirsi: da una parte gli scienziati così appassionati al loro lavoro, che si affeziono alle immagini che producono e le difendono spesso calorosamente da un qualsiasi appunto di ordine estetico, dall’altra una fotografa incapace di afferrare fino in fondo la scala di quei soggetti, che si

---

<sup>14</sup> E. Molinari, Direttore del Centro Nazionale di Ricerca S3 – nanoStructures and bioSystems at Surfaces dell’INFM, nato a Modena nel 2001, introduzione al catalogo della mostra *Blow-up, immagini del nanomondo*, 2006.

<sup>15</sup> R. Hoffmann, professore di Chimica e Lettere alla Cornell University e premio Nobel per la Chimica nel 1981, introduzione al catalogo della mostra *Blow-up, immagini del nanomondo*, 2006.

<sup>16</sup> E. Molinari, *cit.*

ostinava a parlare di “fuoco” o di “inquadratura” o, peggio ancora, di fonti di luce e ombre, (...) <sup>17</sup>.

Le immagini per la comunicazione scientifica si muovono quindi in bilico tra l'estetica e la rigidità dell'informazione, tra il collegamento con la memoria e l'esperienza e l'astrazione derivante dalla loro natura così complessa, estranea e irreale.

Controversia che, nel caso della mostra in questione, essendo le immagini comunque pensate “a servizio del contenuto scientifico”, si risolve con il semplice contributo delle didascalie, introdotte come “potenziamento” del potere estetico della rappresentazione ma quasi sicuramente anche un “salvagente” per gli scienziati autori delle immagini.

Proprio per lasciar sprigionare fino in fondo la meraviglia che scaturisce dalle immagini, abbiamo scelto di inserire, accanto a ognuna di esse, una spiegazione. Le immagini, infatti, evocano spazi e oggetti che sembrano già noti alla nostra esperienza: (...). Abbiamo cercato nelle didascalie il movimento opposto, di de-naturalizzazione, de-familiarizzazione. Ci è sembrato che proprio con la comprensione e la fuoriuscita dall'ovvio di una familiarità impropria, proprio riportando le immagini alla loro storia e alle nostre ricerche, sia possibile vederle meglio <sup>18</sup>.

Il punto è che tutte le immagini “significano qualcosa”. E se non sentiamo l'impulso o non siamo espressamente guidati, per dirla con le parole della Molinari, a “de-familiarizzarle”, ci troviamo in difficoltà a interpretare correttamente quello che abbiamo davanti: può succedere che la forma e l'estetica creino un ostacolo interpretativo e limitino la comprensione della sostanza, aldilà dell'analogia con il reale e la propria esperienza pregressa.

Non è detto però che il legame con la realtà vissuta, con il proprio immaginario e con la propria memoria, che scaturisce dalle rappresentazioni visuali usate in ambito scientifico, sia negativo *tout court*: la ricerca di base si muove in modi e con strategie di pensiero che sono molto più vicini all'arte e alla narrativa di quanto gli scienziati stessi siano spesso portati ad ammettere.

Attorno a quell'immagine blu invento molteplici storie. E va bene così, perché inventare storie è nella natura degli esseri umani. A dirla tutta, dietro l'elemento più importante della scienza, dietro la sua immaginazione, c'è la narrativa. Che cosa sono le ipotesi alternative, se non storie <sup>19</sup>?

---

<sup>17</sup> L. Covi, fotografa, introduzione al catalogo della mostra *Blow-up, immagini del nanomondo*, 2006.

<sup>18</sup> E. Molinari, *cit.*

<sup>19</sup> R. Hoffmann, *cit.*

Il realismo (o figurativismo) che ci porta a ricondurre le rappresentazioni visuali alla realtà deve però essere limitato o guidato alla corretta comprensione del contenuto rappresentato: nel caso della mostra di cui abbiamo parlato, la guida sono le didascalie scientifiche su come le immagini sono state realizzate ed elaborate e su cosa rappresentano.

La didascalia però, nel caso di rappresentazioni fuorvianti, come quelle di cui abbiamo discusso in questo e nel primo capitolo, può soltanto “correggere il tiro” e riportare la rappresentazione su un piano più astratto, restituendole l’arbitrarietà propria del rapporto tra il piano dell’espressione e il piano del contenuto, spiegando cioè per cosa “stanno” le forme e i colori dell’immagine. Perché allora non rimanere sul piano di quell’arbitrarietà, evitando di dover correggere interpretazioni errate (che se associate all’esperienza, possono essere potentissime)? Abbiamo visto come la motivazione della scelta di rappresentazioni visuali (e belle) sia spesso di tipo “pubblicitario”, nel senso che si attribuisce ad esse (e a ragion veduta) un maggiore potere fascinatorio e coinvolgente. Il successo di tali rappresentazioni tende però a oscurare il rischio sempre presente di falsare i collegamenti con la realtà rappresentata, creandone di fittizi e non corretti.

Nei prossimi paragrafi mostreremo come un maggiore grado di astrazione permetta anche un trasferimento di contenuti più articolato, ricco e meno soggetto a interpretazioni divergenti.

In particolare, analizzeremo alcuni esempi di rappresentazioni che fanno uso di altri sensi, sia in ambito generale (tipicamente come ausilio per disabilità visive) sia studiati espressamente per la comunicazione di contenuti scientifici.

### **3. Rappresentazioni alternative a quelle visuali**

Le rappresentazioni che fanno uso di sensi diversi dalla vista sono rare e tipicamente progettate con l’esplicito obiettivo di agevolare utenti ipovedenti o non vedenti e comunque di costituire un’alternativa alla rappresentazione visuale, quando questa non sia utilizzabile dall’utente.

Si tratta di rappresentazioni *funzionali*, pensate cioè **per ricostruire un’immagine virtuale alternativa a quella visuale**, in cui siano riprodotte le caratteristiche utili all’ambientamento e al movimento nello spazio o all’esplorazione di oggetti. Sono esempi di questo i supporti pensati e realizzati come ausilio per i non vedenti, che fanno tipicamente uso del tatto e dell’udito, cercando di riprodurre un’esatta corrispondenza tra mappa sensoriale e immagine, in modo da sopperire alla mancanza della vista. Sono evidentemente astratte (o simboliche) perché producono degli evidenti “surrogati” delle caratteristiche visive dell’oggetto

rappresentato, usando, ad esempio, rilievi tangibili giustapposti per rappresentare la profondità spaziale sulle grandi dimensioni (visibile, ma non sperimentabile dal non vedente se non entro i limiti spaziali accessibili alla sua esplorazione tattile) o suoni per rappresentare i colori (caratteristica reale dell'oggetto, ma non conosciuta esperienzialmente dal non vedente).

Esistono poi alcuni esempi di rappresentazioni non visuali realizzate espressamente per rendere maggiormente comprensibile un contenuto che si ritiene più facilmente o efficacemente veicolabile con l'uso di un senso diverso dalla vista. Di queste analizzeremo in particolare quelle di natura tattile e uditiva, perché utilizzate anche nella sperimentazione oggetto del terzo capitolo.

### **3.1 Rappresentazioni tattili**

Nell'ambito delle rappresentazioni per non vedenti trovano moltissimo spazio quelle tattili, che godono di una lunga tradizione e di una vasta letteratura di studi sulle modalità di fruizione dal punto di vista psicologico e pedagogico. Esistono, in Italia, diverse realtà museali che sono in possesso di strumenti e di personale in grado di assicurare la fruizione per i non vedenti.<sup>20</sup> Due musei in particolare sono specializzati nel rendere accessibile l'arte ai non vedenti: il Museo *Anteros* a Bologna, dove la pittura è resa fruibile per i non vedenti attraverso l'uso di bassorilievi che riproducono tridimensionalmente alcune celebri opere pittoriche e il Museo Tattile Statale *Omero* ad Ancona (nato con l'intento di diventare un centro di educazione estetica per i non vedenti) che, per rendere fruibili le opere, si avvale di supporti come calchi e copie di opere scultoree<sup>21</sup>.

Esiste inoltre un vasto patrimonio di conoscenze in tema di realizzazione di libri illustrati tattilmente (TiB – *Tactile illustrated Books*), in cui la storia, trascritta sia in nero sia in Braille, è affiancata da immagini tattili, cioè esplorabili con il tatto<sup>22</sup>.

La bibliografia di libri tattili è vastissima, ma sono pochi i testi che vengono prodotti su scala commerciale. In Italia, molto attiva sul tema è la Federazione Nazionale delle Istituzioni Pro Ciechi Onlus, che ha realizzato, in collaborazione con vari partner, le collane editoriali di libri

---

<sup>20</sup> Per una panoramica, D. Parente, *I musei per i non vedenti in Italia*, 2006.

<sup>21</sup> Per approfondimenti sugli studi riguardanti le metodologie didattiche e l'educazione all'estetica di queste realtà, si rimanda, tra gli altri, gli studi di A. Grassini, presidente del Museo *Omero* di Ancona (*I ciechi e l'esperienza del bello: il Museo Tattile Statale Omero di Ancona* in A. Grassini *Per un'estetica della tattilità*, 2015) e di L. Secchi, curatrice del Museo tattile *Anteros* di Bologna (*Toccare la pittura. Il Museo tattile Anteros dell'Istituto dei Ciechi F. Cavazza di Bologna*, in *L'integrazione scolastica e sociale*, 2009).

<sup>22</sup> Per un approfondimento sulla complessità della realizzazione di immagini per libri illustrati tattilmente, si veda P. Claudet, *La differenza non è sottrazione*, 2009.

tattili *Tocca a te, Sotto a chi Tocca, Tactus, Oukou pata* e *DO IT*. La Federazione Pro Ciechi organizza anche il concorso *Typhlo e Tactus*, il cui premio per i migliori prototipi di libri con illustrazioni a rilievo e testi in braille è la pubblicazione da parte della casa editrice francese *Les Doigts Qui Rêvent* LDQR - pioniera nel campo dell'illustrazione tattile. Infine, citiamo il progetto *A spasso con le dita*, organizzato dalla stessa Federazione con il sostegno di Enel Cuore Onlus, che ha offerto gratuitamente stampa e distribuzione presso biblioteche, reparti pediatrici, istituzioni impegnate nella promozione della lettura e istituzioni che operano per l'integrazione scolastica e sociale dei bambini minorati della vista, di cinque libri tattili in mille copie ciascuno.

In merito alla vastissima tematica dell'esplorazione tattile per i non vedenti, e della funzione pedagogica e cognitiva della percezione tattile, riportiamo qui solo alcuni spunti che riteniamo utili alla nostra trattazione, anche in riferimento alla sperimentazione che abbiamo ideato e che descriveremo nel prossimo capitolo.

Differentemente da come si potrebbe spontaneamente immaginare, non basta mettere un'immagine in rilievo per ottenere una rappresentazione tattile corrispondente a quella visuale, perché “diverse sono le modalità di esplorazione messe in gioco”<sup>23</sup>.

In Tabella 1 sono riportate le differenze sostanziali che caratterizzano la percezione e le modalità di esplorazione tattile rispetto a quella visiva.

MODALITÀ VISIVA	MODALITÀ TATTILE
Sintetica	Analitica
Istantanea	Sequenziale
A distanza	A contatto
Campo visivo illimitato	Campo esplorativo/conoscitivo limitato alla zona di contatto
Corpi assenti	Corpi in gioco

**Tabella 1** Principali differenze tra percezione visiva e tattile<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> P. Claudet, *La differenza non è una sottrazione*, 2009, p.28.

<sup>24</sup> P. Claudet, *cit.*, p.28.

Dunque, la vista percepisce l'insieme e poi analizza in modo assai raffinato. Ma il tatto non si comporta allo stesso modo. Il tatto è essenzialmente analitico ed è in grado di cogliere soltanto superfici molto ristrette. Il "Colpo d'occhio" gli è impossibile e per questo deve procedere attraverso l'esplorazione<sup>25</sup>.

Per questo motivo, le immagini tattili devono essere espressamente pensate, sin dalle prime fasi, come rappresentazioni comprensibili al tatto, con il giusto numero di informazioni (non troppo poche, non ridondanti, e soprattutto non contraddittorie) e l'attenzione alla scelta dei particolari resi "tangibili", rispetto ai corrispondenti visuali.

Una cosa che hanno in comune tatto e vista è il collegamento alla memoria e all'esperienza vissuta. Sia vedenti che non vedenti fanno ricorso alla memoria quando richiamano concetti astratti e all'esperienza vissuta quando richiamano sensazioni percettive, che chiaramente saranno differenti per chi ci vede e per chi no. Nel caso dei non vedenti, il richiamo sensoriale fa necessariamente riferimento a sensazioni tattili, uditive, gustative, olfattive. Per i vedenti le sensazioni richiamate saranno anche visive. Ma in entrambi i casi, il vissuto riporta alle emozioni legate all'esperienza evocata e quindi l'analogia con la realtà può indurre a farsi un'idea di quello che si sta esplorando falsata da immagini mentali pregresse.

Nel caso di rappresentazioni tattili quindi, il rischio di concezioni fuorvianti derivate dall'analogia con il reale è altrettanto presente che nel caso di rappresentazioni visuali.

### **3.2 Rappresentazioni sinestetiche**

Il termine sinestesia (letteralmente "percezione contemporanea") nasce nel XIX secolo per descrivere una particolare forma d'interazione dei sensi, per cui uno stimolo sensoriale di un certo tipo produce la reazione di un altro senso, secondo una chiara relazione di causa-effetto. L'accezione di questo termine è andata modificandosi nel tempo, assumendo anche diverse sfumature di significato. Seguendo la definizione proposta da Dina Ricco nel 1999, possiamo distinguere:

1. Le percezioni sinestesiche (in campo medico, cioè relative all'origine del termine);
2. Le sinestesie linguistiche, presenti nel linguaggio poetico, ma anche nella lingua di ogni giorno (ad es. l'espressione "odore pungente").

---

<sup>25</sup> A. Grassini, *cit.*

A tal proposito, si vedano anche le ricerche scientifiche sulla percezione spaziale e sulle modalità esplorative di vista e tatto, portate avanti con soggetti non vedenti o ipovedenti, negli articoli di Thinus-Blanc & Gaunet 1997, Cattaneo et al. 2008, Iachini & Ruggero 2010, Ruotolo et al. 2012.



3. Le sinestesie come rappresentazioni, costruite in base a particolari corrispondenze tra dati sensoriali eterogenei. Le rappresentazioni sinestetiche si possono manifestare come: “sintesi estetica”, vale a dire come sovrapposizione di più registri sensoriali che si muovono parallelamente (ad esempio un audiovisivo) oppure come “traduzione” di un elemento sensoriale in un altro elemento sensoriale (un esempio sono le partiture musicali tradotte in opere pittoriche).

Da sottolineare che nel primo caso non si tratta soltanto di prodotti multimediali, rappresentazioni cioè che accostano dati sensoriali veicolati da più media, ma di rappresentazioni nelle quali la particolare relazione fra le sensazioni è generata dall'idea, a volte percezione, sinestetica dell'autore. (...) Traduzione e sintesi estetiche possono perciò essere intese, più che come posizioni contrapposte, come due diverse tappe di uno stesso percorso, anche se di volta in volta, di fronte all'opera finita, chiaramente individuabili: monomediali le une, multimediali le altre<sup>26</sup>.

Nel seguito analizzeremo alcuni esempi di rappresentazioni sinestetiche, come ausilio per i non vedenti in generale e, in particolare, come testi per la comunicazione di contenuti scientifici.

### **3.3 Mappature sonore dello spazio e del colore**

Molte delle rappresentazioni che abbiamo individuato come esempi di trasduzione sinestetica di informazioni sono realizzate per sostituire lo stimolo sensoriale visivo con un altro stimolo sensoriale. Spesso si tratta di ausili al movimento, che producono mappature spaziali alternative a quelle visuali.

Il primo esempio è la modifica del più classico strumento di interazione di un non vedente con l'ambiente circostante, il bastone che, con l'inserimento di un dispositivo tipo radar che emettendo laser o ultrasuoni riesce a “mappare” gli spazi e l'eventuale presenza di ostacoli, trasformando poi il raggio riflesso in uno stimolo sonoro o tattile<sup>27</sup>.

---

<sup>26</sup> G. Bevilacqua, *cit.*

<sup>27</sup> Un esempio è il “bastone radar” sviluppato nel 2010 dai ricercatori della Ben Gurion University di Negev (Israele) (<http://salute.agi.it/primapagina/notizie/39radar39-per-ciechi-funziona-meglio-di-cani-e-bastoni?>), seguito negli anni da altri dispositivi analoghi.

Il progetto VIDET (VIsual DEcoder by Touch)<sup>28</sup> è un sistema robotico (sviluppato dall'Università di Bologna) che permette di ricostruire in modo virtuale e in scala gli spazi e le forme, trasformandole poi in stimoli tattili riconoscibili al non vedente (come una sorta di bassorilievo della realtà che lo circonda). Il sistema è stato successivamente implementato per permettere anche la rivelazione dei colori attraverso diversi stimoli sonori<sup>29</sup>.

Il progetto EAV (Espacio Acustico Virtual)<sup>30</sup> nasce nel 1996 da una collaborazione tra l'Università di La Laguna e l'*Instituto de Astrofísica* delle Canarie a Tenerife, con l'intento di offrire ai non vedenti l'opportunità di orientarsi in un ambiente ricreando per loro lo spazio attraverso una mappatura sonora tridimensionale che richiama delle gocce di pioggia a maggiore o minore ritmo. Il suono che rappresenta lo spazio può essere ascoltato senza eliminare gli altri rumori di fondo, comunque necessari per l'ambientamento.

Un'evoluzione di quest'idea è rappresentata dallo studio esposto nelle tesi di Laurea di L. Ausiello ed E. Cecchetelli svolte presso l'Università di Bologna sotto la guida del Prof. M. Ferri<sup>31</sup>, il cui obiettivo era quello di aggiungere il colore alla mappatura sonora, facendo uso del timbro dei suoni usati. Interessante in questo caso notare come la codifica ritenuta meno pesante dal punto di vista computazionale e in generale più adatta allo scopo è quella puramente associativa tra colori e timbri, osservando come la memoria visiva nel caso di ciechi non congeniti possa influenzare questa associazione.

Nel momento in cui si scelga una codifica di tipo puramente associativo tra colori e suoni bisogna subito precisare come l'algoritmo di codifica sia soggettivo; ciascuno degli utenti finali del sistema, infatti, potrà scegliere un suo personale accostamento tra timbri e colori. Non vedenti dalla nascita in linea di principio non dovrebbero avere alcuna preferenza verso una specifica associazione, (...), mentre persone che avevano la vista possono avere ricordi legati ai colori e di conseguenza potranno voler effettuare delle scelte precise nelle associazioni<sup>32</sup>.

---

<sup>28</sup> <http://vis.dm.unibo.it/videt/videt.htm>

<sup>29</sup> L. Cappelletti, *Resa tattile del colore nell'apparato VIDET per videolesi*, 1996.

<sup>30</sup> <http://www.iac.es/proyecto/eavi/>

<sup>31</sup> L. Ausiello, *Codifica sinestetica dei colori mediante suoni in un dispositivo per videolesi*, 2004 e E. Cecchetelli, *Implementazione di un sistema di resa acustica del colore a tavolozza continua ai fini della sperimentazione*, 2005.

<sup>32</sup> L. Ausiello, *cit.*

Per approfondire riguardo alla funzione del linguaggio per la costruzione di concetti prettamente visuali nei non vedenti, si rimanda a M. Mazzeo, *Il cieco e i colori: verbalismo ed esonero*, in *Storia naturale della sinestesia. Dalla questione di Molyneux a Jakobson*, 2005 (pp.269-274) e B. Magee, M. Milligan, *Sulla Cecità*, 1997, lettera di Magee a Milligan, p.31.

Analogo al progetto EAV è lo studio che ha portato alla realizzazione del dispositivo vOICe (OIC sta per “Oh! I See”): un ETA (*Electronic Travel Aid*) progettato dai Ricercatori del California Institute for Technology nel 2009, che traduce i segnali prodotti da una mappatura stereoscopica dello spazio in suoni, che permettono di riconoscere gli oggetti vicini e la loro posizione nello spazio, per evitare rischi di collisione e aiutare l’esplorazione a distanza.<sup>33</sup>

The vOICe scans each camera snapshot from left to right, while associating height with pitch and brightness with loudness. All of this means, for example, that a straight bright line on a dark background, running from the bottom left to the top right, sounds as a tone steadily increasing in pitch: ooieep. Two bright lines give two tones. Three distinct bright dots sound as three short beeps, and so on<sup>34</sup>.

Si tratta, in tutti i casi citati, di rappresentazioni sinestetiche il cui uno stimolo sensoriale, in questo caso non possibile, viene tradotto nello stimolo di un altro senso.

Anche nel caso del prossimo studio preso in analisi si opera una traduzione sensoriale, ma si realizza allo stesso tempo una *sintesi estetica*, in quanto si opera una sovrapposizione di registri sensoriali, tattile e uditivo. Partendo dal presupposto che la percezione visiva della forma “entro certi limiti di scala possa essere tradotta in una modalità tattile”<sup>35</sup>, alcuni scienziati dell’Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del CNR, autori di questo studio hanno sfruttato la sinestesia per la rappresentazione del colore, che è una proprietà puramente visiva (e molto astratta per i non vedenti).

Una tipica associazione sinestesica è quella tra colori e suoni, ed è appunto quella che abbiamo utilizzato, facendo corrispondere a ciascun possibile colore, un suono musicale in modo sistematico: cosicché a ogni variazione di colore corrispondesse, per direzione e intensità, un’identica variazione del suono musicale<sup>36</sup>.

Il prototipo di questo sistema è stato testato sul *Ritratto di giovane donna con liocorno* di Raffaello. La prima sperimentazione è stata realizzata con l’affresco di *Eracle infante* a Pompei, di cui è stata prodotta una rappresentazione tattile attraverso una trasposizione a rilievo su resina, in modo tale, però, che solo una porzione degli oggetti rappresentati sia effettivamente tangibile. Al non vedente è fornito un tracciatore tridimensionale

---

<sup>33</sup> Per una descrizione dettagliata del progetto, vedere anche: <https://www.newscientist.com/article/dn28421-smart-glasses-translate-video-into-sound-to-help-the-blind-see/>

<sup>34</sup> <https://www.seeingwithsound.com/>

<sup>35</sup> F. Antinucci, (Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del CNR di Roma), *Prototipo per la percezione sinestesica di dipinti per non vedenti*, 2003.

<sup>36</sup> *Ibidem*.

miniaturizzato da indossare sul dito che "esplora". Il tracciatore comunica la posizione del dito sulla forma tridimensionale e un algoritmo produce istantaneamente il suono musicale corrispondente al colore toccato.

In questo sistema, la traduzione sinestetica dalla vista all'udito sfrutta un parallelo tra le caratteristiche del colore (tre: tonalità, luminosità e saturazione) e quelle del suono (tre anche in questo caso: timbro, altezza e intensità).

Notiamo come tutte le rappresentazioni sonore riportate in questo paragrafo sono arbitrarie e astratte e che, in quanto tali, necessitano di una certa *formazione* (intesa anche solo come pratica e allenamento) da parte del non vedente, per memorizzare i significati delle caratteristiche del suono rappresentato. Questo, se di per sé può essere visto come un rallentamento nel processo cognitivo è anche, dal nostro punto di vista, la garanzia di un certo distacco della percezione (e quindi dell'apprendimento) dalla memoria e dall'esperienza pregressa.

#### **4. Esempi in ambito scientifico**

In questo paragrafo illustreremo alcuni esempi di rappresentazioni non visuali di dati scientifici. Tratteremo prima i molti esempi di rappresentazioni tattili ("mono-sensoriali") in cui è stata operata una traduzione di qualche tipo dallo stimolo visivo accessibile ai vedenti a uno stimolo tattile riconoscibile dai non vedenti attraverso un codice abbastanza lineare.

In seguito ci interesseremo invece di due esempi, molto interessanti per gli scopi di questa tesi, di rappresentazioni acustiche di dati scientifici non visibili, cioè fisicamente inaccessibili, per loro natura, alla visione da parte dell'occhio umano.

##### **1.1 Traduzioni dal visivo al tattile**

La maggior parte delle rappresentazioni non visuali di dati scientifici sono espressamente costruite per avvicinare un pubblico di non vedenti a concetti scientifici altrimenti non facilmente accessibili<sup>37</sup>.

Tipicamente si tratta traduzioni tattili della rappresentazione visuale, ottenute trasformando l'immagine in rilievo. Come abbiamo sottolineato nei paragrafi precedenti, la scelta dei dettagli da rendere tangibili è molto difficile e bisogna in qualche modo estraniarsi

---

<sup>37</sup> Molti sono i progetti che mirano a questo obiettivo, operando traduzioni e trasposizioni di diversi dati scientifici (molti specificamente di Fisica) in varie forme accessibili ad altri sensi. Ne citiamo solo alcuni: <http://www.dickbaldwin.com/tocPhysics.htm>, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/26/4/004/pdf>, <http://www.nottingham.ac.uk/pesl/resources/disability/teaching102/>, <http://www.perkinselearning.org/scout/teaching-physical-science-students-who-are-blind-or-visually-impaired>, <http://www.sciencefortheblind.com/>

dall'immagine visibile di partenza, creando un prodotto espressamente pensato per essere tattile; non sempre questo è possibile o si può verificare. In questo paragrafo descriviamo brevemente alcuni progetti da noi individuati, osservando però che, per poterne valutare oggettivamente l'efficacia, si dovrebbe aver accesso a dati di feedback del pubblico che ha fruito delle rappresentazioni.

Introduciamo per primi una serie di libri tattili sull'astronomia, di Noreen Grice: *Touch the stars* (2002), *Touch the Universe - A NASA Braille Book of Astronomy* (2002, Figura 15), *Touch the Sun - A NASA Braille Book*, *The Little Moon Phase Book* (2005) e *Touch the Invisible Sky* (2007).



**Figura 15** Esplorazione di un'immagine tattile dal libro *Touch the Universe* di Noreen Grice.

Quest'ultima pubblicazione contiene diverse immagini tattili costruite sulla base di visualizzazioni realizzate dalla NASA su osservazioni dell'Universo non visibile, effettuate ad altre frequenze. Anche le immagini in rilievo di questo libro sono costruite a partire dalle visualizzazioni (disponibili negli archivi della NASA) dei dati non visibili raccolti da radiotelescopi, telescopi infrarossi, ultravioletti, X e gamma ecc. È interessante, nel contesto di riferimento di questa tesi, chiedersi quale sarebbe stato il risultato (e quanto e in che modo sarebbe stato diverso) nel caso di resa tattile fatta a partire dai dati numerici, prima che questi fossero visualizzati in immagini.

Le immagini del libro *Touch the Invisible Sky*, nel 2009 sono state anche realizzate in forma di poster, nell'ambito del progetto *From Earth to the Universe* (FETTU) della NASA.

Il libro *The Little Moon Phase Book* (2005), pubblicato lo stesso anno nella versione spagnola con il titolo *El Pequeño Libro de las Fases de la Luna*, è parte del kit di materiali didattici per non vedenti, realizzato nell'ambito del progetto *A touch of the Universe*, nato presso l'Università di Valencia nel 2009, con la collaborazione di diversi sponsor e partner internazionali.

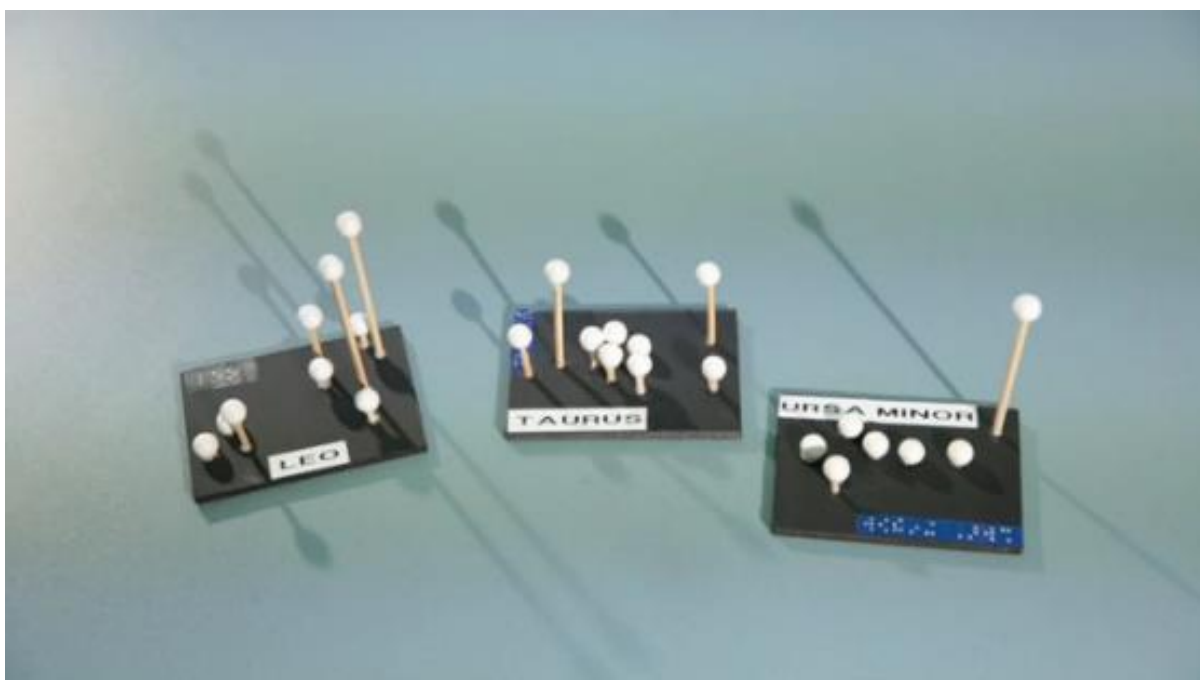
Il kit, realizzato in 30 copie, contiene diverse attività, tutte pensate per fornire supporto a educatori e docenti nell'insegnamento dell'astronomia nelle scuole primarie e secondarie di primo livello a studenti non vedenti, soprattutto in nazioni in via di sviluppo; è stato distribuito a diversi docenti ed educatori in Sud-America, Asia e Africa.

Comprende due modelli tattili, la Luna 3D (*The Moon at your fingertips*) e le costellazioni (da usare insieme allo show per Planetario di cui parliamo sotto), realizzati entrambi in rilievo su semisfere che rappresentano in un caso, appunto, la superficie della Luna e nell'altro la sfera celeste proiettata, come i vedenti sono abituati a conoscerla (Figura 16), e alcuni poster tattili realizzati dal progetto *From Earth to the Universe* della NASA.



**Figura 16** Le semisfere tattili del progetto *A Touch of the Universe*, rappresentanti una faccia della Luna (a sinistra) e metà sfera celeste con le costellazioni (a destra). Appoggiati sul tavolo sotto le semisfere, i poster del progetto *From Earth to the Universe*.

Nei kit sono inoltre compresi tre modelli di costellazioni in 3D (Figura 17) e un dvd contenente lo show per planetario *The sky in your hands* da affiancare all'uso dell'emisfero tattile con le costellazioni.



**Figura 17** Modelli 3D di costellazioni, nel kit del progetto *A Touch of the Universe*.

Vale la pena di fare alcune osservazioni sulla fruibilità di questi ultimi due contenuti.

I modelli di costellazioni in 3D sono chiaramente indicati come fruibili solo da non vedenti acquisiti, non congeniti, dato che è necessario conoscere per esperienza la prospettiva visuale della distanza (non basta averne maturato esperienza con l'esplorazione tattile).

Lo show per planetario comprende una colonna sonora e uno *script* letto da due voci; l'audio è separato su sette canali, due usati per le voci e gli altri cinque per gli effetti speciali sonori e per la musica, utili a far variare la provenienza del suono, secondo la posizione nel cielo della costellazione di cui si parla nel testo. In questo caso, si tratta di una rappresentazione che fa uso del tatto e dell'udito in modo sinestetico, fornendo informazioni ridondanti e concordi attraverso i due stimoli sensoriali.

Infine citiamo uno studio di A.C. Rule del Dipartimento di Istruzione dell'Università del Northern Iowa, che descrive un'esperienza realizzata durante un campo estivo (*Space Camp*) per studenti della scuola media inferiore con materiali costruiti ad hoc per l'esplorazione tattile, con lo scopo di introdurre concetti di geofisica del terreno di Marte. Tra le varie lezioni effettuate, interessante è l'analisi sull'approccio diverso di vedenti e non vedenti all'esplorazione spaziale (i secondi in attesa di istruzioni e più "timidi") e l'introduzione

dell'uso di una *mappa di contorni* come strumento di rappresentazione delle diverse altezze dal suolo, da cui un collegamento diretto con il concetto di prospettiva spaziale.<sup>38</sup>

## 1.2 Rappresentazioni sonore

Gli esempi che seguono riguardano la resa in forma acustica di dati scientifici non fisicamente visibili. Si tratta dei due unici esempi individuati di rappresentazioni scientifiche alternative a quelle visuali, realizzate direttamente a partire da dati non visibili, attraverso codici interpretativi più o meno arbitrari.

In questo caso è forse meno appropriato parlare di “sinestesia” perché non si effettua una traduzione sensoriale né una sintesi estetica: la rappresentazione sonora non è fatta a partire da quella visuale, ma è creata ad hoc a partire dai dati.

Quella che introduciamo per prima non è una singola rappresentazione, ma piuttosto la descrizione di una metodologia: la *sonificazione*, ossia la rappresentazione acustica di dati<sup>39</sup>. L'autore di questa trattazione, Domenico Vicinanza, è uno scienziato (che ha conseguito il suo Dottorato di Ricerca al CERN di Ginevra) e un musicista e compositore professionista. La prima semplice traduzione da un dato a un suono è quella che riproduce andamenti lineari crescenti o decrescenti dei dati con corrispondenti andamenti del suono (Figura 18):

- dati con andamento crescente → melodia crescente.
- dati con andamento decrescente → melodia decrescente.

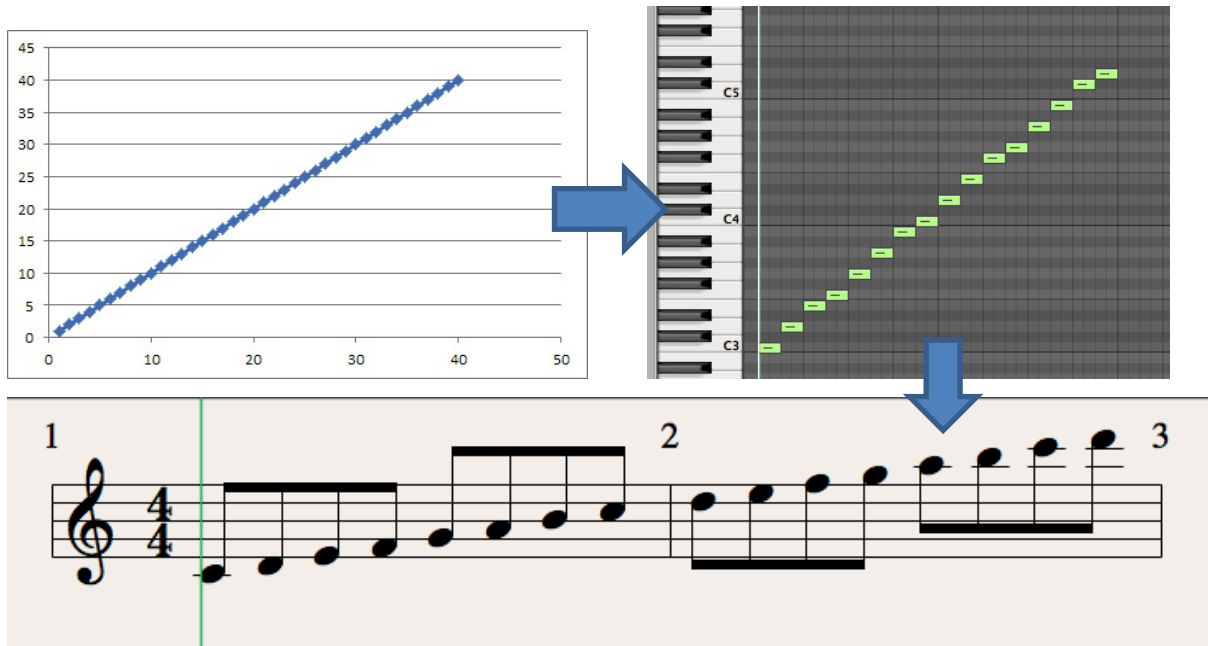
La scelta arbitraria in questo tipo di rappresentazione è il metodo di campionamento dei dati riportati nel diagramma di sinistra, e cioè la scelta della corrispondenza dati-note, perché mentre l'intervallo tra dati rappresentati nel diagramma è dato dalla precisione e dalle caratteristiche della misurazione, il salto tra una nota e l'altra è determinato dall'andamento della scala cromatica (tono, tono, semitono, tono, ecc.),.

---

<sup>38</sup> A. C. Rule, *Tactile Earth and Space Science Materials for Students with Visual Impairments: Contours, Craters, Asteroids, and Features of Mars*, 2011.

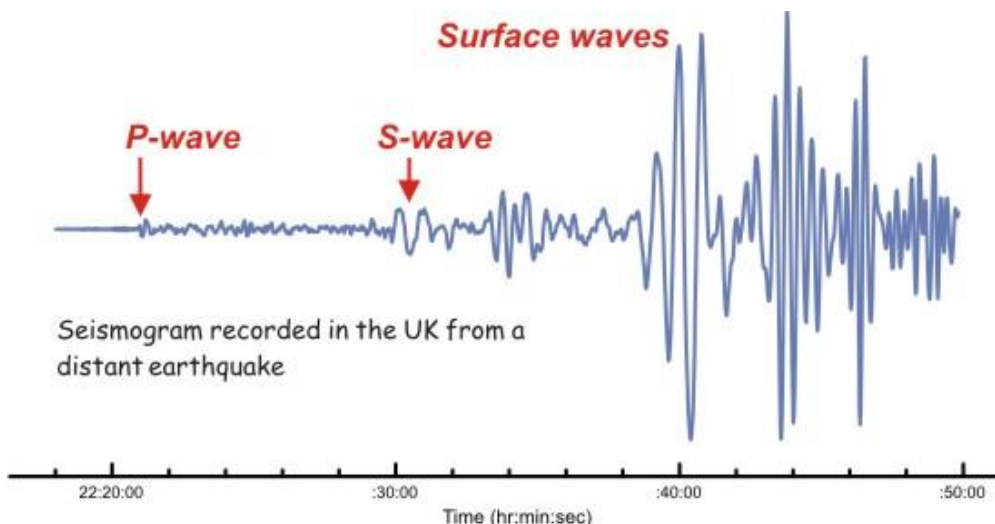
<sup>39</sup> Tutta la trattazione è tratta dal pdf della presentazione tenuta da Domenico Vicinanza alla conferenza *TERENA Networking* del 2015: <https://www.terena.org/activities/network-arts/london/slides/Data-Sonification-Domenico.pdf>.





**Figura 18** Esempio di sonificazione di una variabile con andamento lineare.

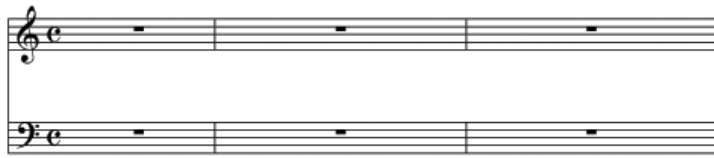
Nel caso di diagrammi di dati con andamenti non lineari ma comunque unidimensionali, la corrispondenza sonora si trova in termini di un andamento analogo delle note sul pentagramma, quindi una partitura le cui note corrispondono ognuna a un “punto” sul diagramma che rappresenta la variabile fisica. Un esempio è la traduzione dei dati di un sismografo (Figura 19) in termini di partitura prima e di suono dopo<sup>40</sup>.



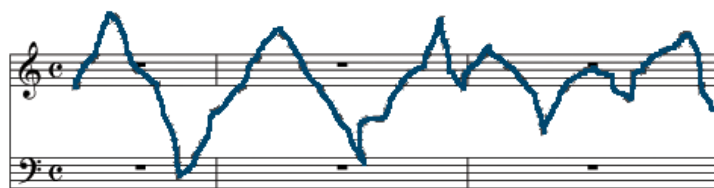
**Figura 19** Dati sismografici registrati in Gran Bretagna, relativi a un terremoto distante.

<sup>40</sup> Un altro esempio di questo tipo di sonificazione di dati sismici era già stato pubblicato, nel 2006 su New Scientist. (<http://sonify.psych.gatech.edu/presscoverage/2006/NewScientist-2006-08-11-Volcanoes.pdf>).

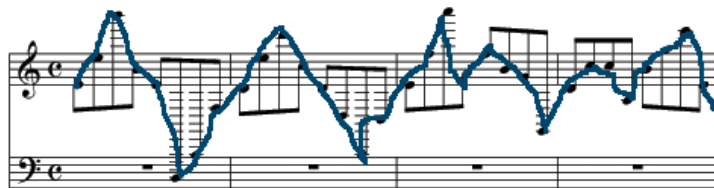
In questo caso la procedura di sonificazione parte da una partitura vuota, cui viene sovrapposto l'andamento delle onde sismiche (come riportate dal sismogramma) al cui contorno sono fatte corrispondere le note di una partitura (Figura 20).



a)



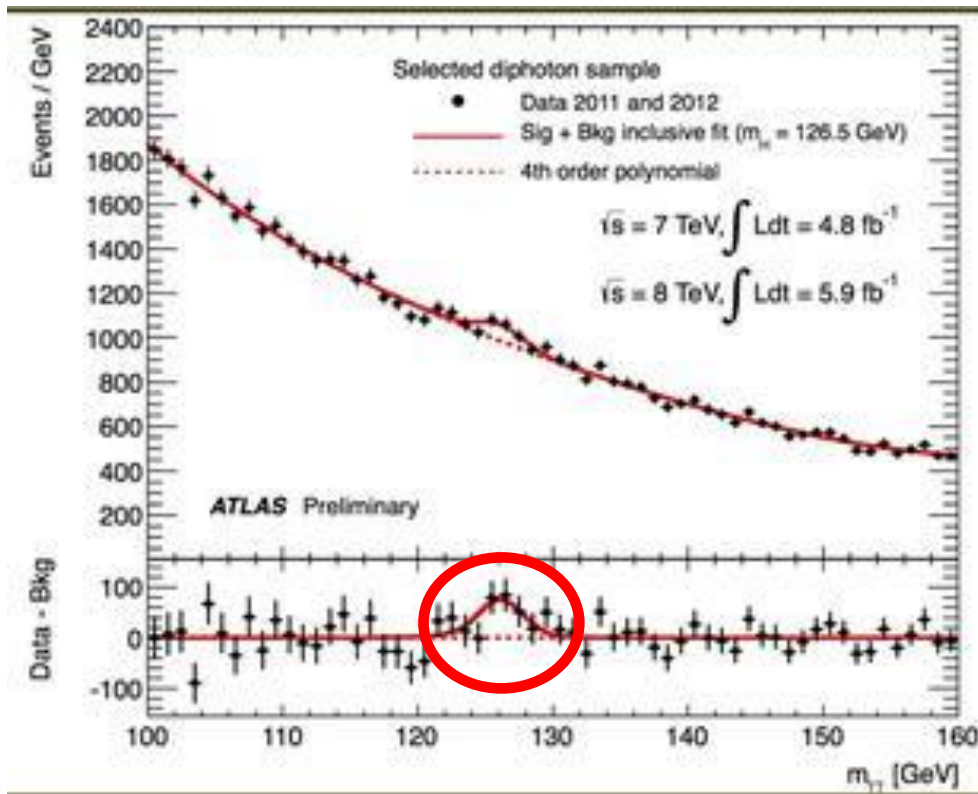
b)



c)

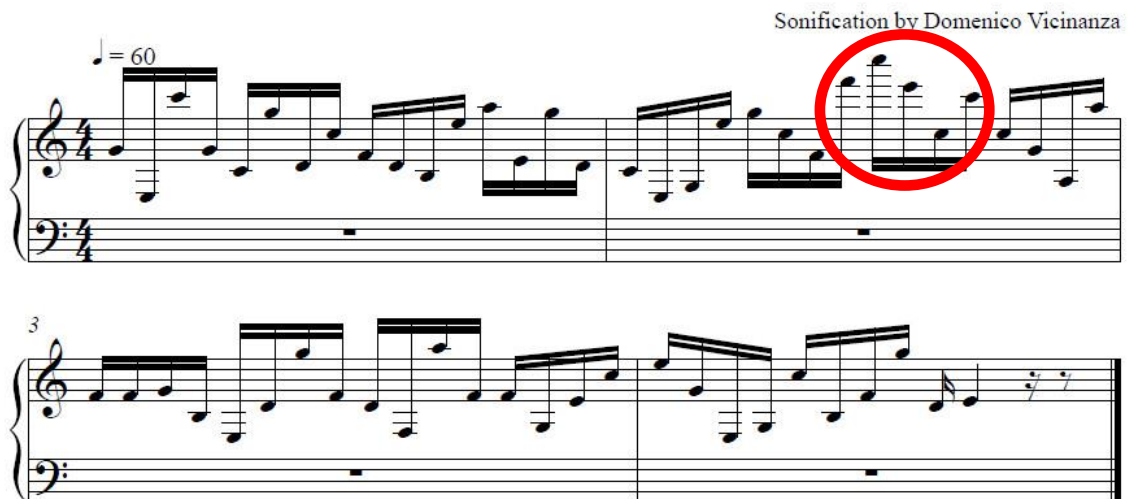
**Figura 20** Procedura di sonificazione di un sismogramma: (a) partitura vuota; (b) sovrapposizione del sismogramma; (c) corrispondenza note-contorno.

La stessa procedura è stata usata da Vicinanza per sonificare la rivelazione della particella *Bosone di Higgs*, effettuata al CERN il 4 luglio 2012. Il picco nella visualizzazione sul diagramma di Figura 21 diventa l'insieme di note acute evidenziate in Figura 22.



**Figura 21** Rappresentazione visuale dei dati di massa nell'esperimento effettuato il 4 luglio 2012 al CERN di Ginevra con lo strumento ATLAS, che ha portato alla rivelazione del Bosone di Higgs.

### Higgs Boson (ATLAS Preliminary data)

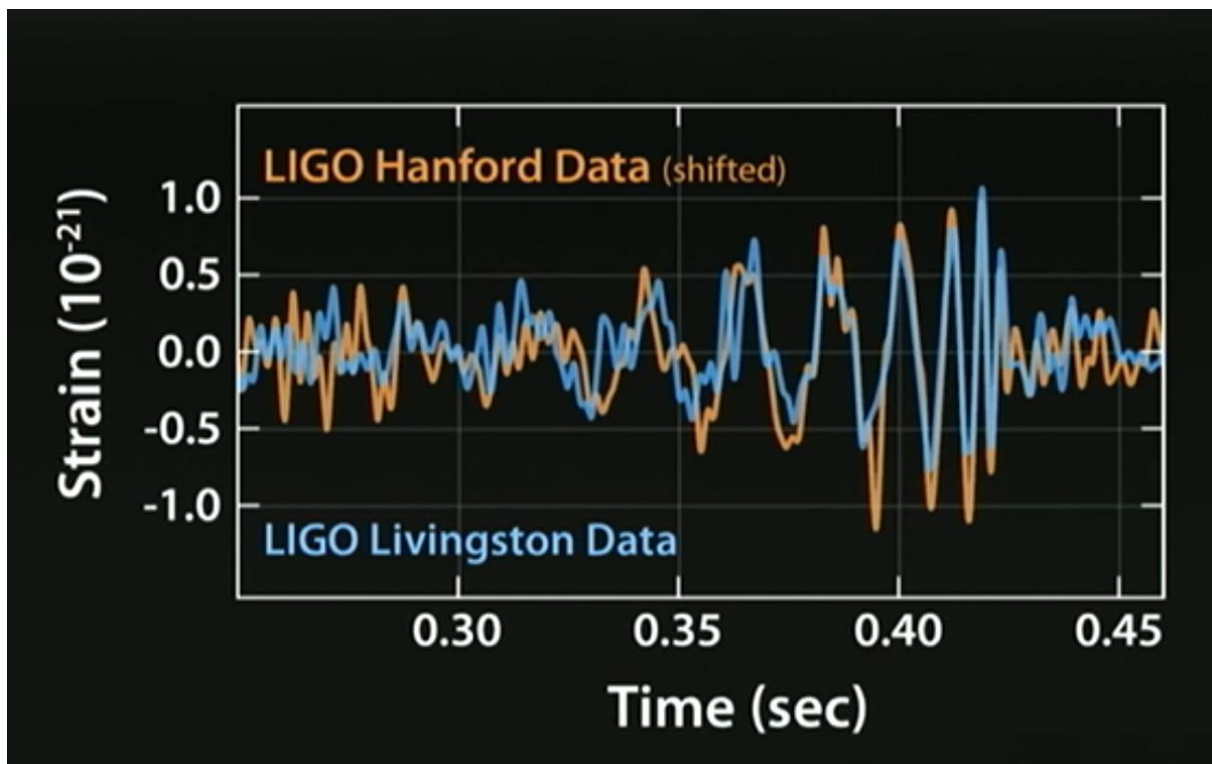


**Figura 22** Sonificazione dei dati dell'esperimento che ha portato alla rivelazione del Bosone di Higgs.

Nel caso delle rappresentazioni qui riportate, si tratta sempre della rappresentazione in forma acustica di una sola grandezza, i cui valori misurati sono fatti corrispondere a note musicali, secondo un codice di traduzione arbitrario ma facilmente intuibile e interpretabile.

Un altro esempio è la resa in forma acustica dell'emissione di onde radio da parte di oggetti celesti (o anche terrestri). Trattandosi di frequenze molto vicine a quelle acustiche, in questi casi il risultato della resa acustica si ottiene semplicemente attraverso una "trasduzione" del segnale, reso in forma udibile<sup>41</sup>.

Un altro recente esempio di sonificazione è la rappresentazione in forma acustica delle onde gravitazionali, rivelate nel settembre 2015 presso gli interferometri LIGO (nello stato di Washington e in Louisiana) e confermate l'11 febbraio 2016 dalla National Science Foundation<sup>42</sup>. La scoperta, forse la più importante degli ultimi cento anni, ha permesso di fornire la verifica sperimentale alla teoria della relatività di A. Einstein, che prevede infatti l'esistenza di tali onde. Non solo, ha permesso di superarsi in termini tecnologici, riuscendo a rivelare un effetto così piccolo che Einstein stesso riteneva non sarebbe mai stato possibile rivelare (Figura 23).



**Figura 23** I segnali ricevuti dai due "pezzi" dell'interferometro LIGO (uno nello stato di Washington DC e l'altro in Louisiana).

La resa in forma acustica è stata realizzata con la seguente procedura: nella prima parte della rappresentazione acustica, la frequenza dell'onda sonora rappresentata corrisponde esattamente alla frequenza dell'onda gravitazionale rivelata; nella seconda parte, il suono è

<sup>41</sup> Per maggiori dettagli, si veda il progetto "RadioNatura": <http://www.radioastrolab.it/radio-astronomia/bande-elf-vlf-lf-e-radio-natura>.

<sup>42</sup> La collaborazione scientifica ha visto affiancati il team di LIGO (negli Stati Uniti e quello dello strumento VIRGO (vicino Pisa, in Italia).

stato riprodotto con lo stesso andamento ma a frequenze più alte, caratteristiche dello spettro udibile dall'uomo.

“Scientists call these sounds ‘chirps’, because some events that generate gravitation waves would sound like a bird's chirp.”<sup>43</sup>

Questo tipo di rappresentazione mostra un'evidente affinità con concetti presenti alla memoria sotto forma di percezioni sensoriali legate all'esperienza comune. Il fatto stesso che la descrizione del suono usi una metafora linguistica, è un chiaro segnale della volontà di familiarizzare il contenuto della rappresentazione. Come già considerato all'inizio del capitolo, questa familiarità non è di per sé un aspetto negativo della rappresentazione (in questo caso sonora): bisogna però mantenere sempre in evidenza la dichiarazione dell'arbitrarietà di questa analogia con il reale, per evitare fraintendimenti.

Nel caso di cui ci stiamo occupando, il rischio di una percezione comune della comunicazione falsata è evidenziato dall'immediata diffusione dell'efficace metafora che accomuna la nuova potenzialità di studio dell'Universo a un “senso nuovo”, che però viene direttamente collegato al senso dell'udito (a confronto con la “vista elettromagnetica”).

Fino a questa mattina la nostra conoscenza dell'universo era infatti limitata a due “sensi” soltanto, se così vogliamo chiamarli. Quello per i fotoni, la vista – dunque il 99.9 per cento dei telescopi, a terra e nello spazio, da quelli radio a quelli per raggi gamma, passando per i nostri stessi occhi e per il cannocchiale di Galileo. E, recentissimo e ancora in fasce, quello per i neutrini. Da oggi pomeriggio, per la prima volta nella storia dell'umanità, sappiamo invece di avere anche l'*udito*. Il senso che ci mancava per raccontare quella storia, e innumerevoli altre che nemmeno immaginiamo, che un senso non l'aveva. Da domani ci attende un lavoro intenso ed entusiasmante: imparare ad affinarli e a usarli tutti insieme, questi sensi. Vedere e sentire l'universo che ci circonda, cogliendone tutta la profondità, come non avevamo potuto fare mai<sup>44</sup>.

La dichiarazione del fatto che si tratti di un'analogia con il reale e non della realtà fisica dei nostri sensi come li conosciamo è presente nella narrazione della storia (“se così vogliamo chiamarli”). Ma la metafora del suono che ci rivela le onde gravitazionali, che nessuno avrebbe invece idea di come rappresentarsi, è potente<sup>45</sup> e prende piede in fretta: la ricerca in

---

<sup>43</sup> <https://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160211v2>

<sup>44</sup> <http://www.media.inaf.it/2016/02/11/vedere-sentire-onde-gravitazionali/>

<sup>45</sup> Durante la stessa conferenza stampa della National Science Foundation, quella in cui la scoperta è stata annunciata per la prima volta, David Reitze, Direttore del Laboratorio LIGO (lo strumento che ha permesso la scoperta) dice “... and you can actually *hear* them, (...) so it's the first time the Universe has *spoken* to us through gravitational waves (...) up to now we were deaf to gravitational waves but now we're able to hear them, this is amazing to me”: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_582rU6neLc](https://www.youtube.com/watch?v=_582rU6neLc) (min12:08-12:32).

rete delle parole “gravitational+waves+sound” (fatta il 15 febbraio, solo quattro giorni dopo l’annuncio della scoperta) produce milioni di risultati provenienti da testate giornalistiche di vario genere: al terzo posto della lista c’è un articolo di un Professore del Massachusetts Institute for Technology (MIT) di Boston, dove si legge:

The character of gravitational waves generated by a source is quite different from that of electromagnetic waves a source might generate. (...) A more fruitful analogy can be formed based on sound. (...)The information content of GWs (*Gravitational Waves*, ndr) is analogous to that of sound<sup>46</sup>.

Anche qui l’arbitrarietà dell’analogia è diffusamente spiegata e se ne dichiara (nell’ultimo paragrafo dell’articolo) anche l’efficacia per la spiegazione del fenomeno in termini fisici: come se ci si scusasse di usarla, ammettendo che però non se ne riesce a fare a meno, visto quanto è “invitante” dal punto di vista della comunicazione (e della pubblicizzazione).

There are differences, of course: Rather than pressure waves moving in an atmosphere, the waves are ripples of spacetime curvature. And, GWs don't act upon membranes in our ear, but rather as oscillating tidal forces upon widely separated masses. As such, it should of course be understood that the analogy to sound waves is really just an analogy. But, it has proven to be a very useful one for communicating the information that GWs carry, and clarifying how GWs can be used for astronomy<sup>47</sup>.

Il punto importante sta nel fatto che l’analogia mantiene la sua forza molto più a lungo dei dettagli tecnici, e rischia di essere essa stessa riconosciuta come un dettaglio tecnico (qualcosa come “le onde gravitazionali si possono sentire”).

### **Conclusioni: codice arbitrario e aspetti emotivi**

Abbiamo analizzato alcuni esempi di rappresentazioni sensoriali che fanno uso di altri sensi rispetto alla vista. Indipendentemente dall’origine e dalla motivazione della rappresentazione, quello che abbiamo potuto osservare è che le rappresentazioni più chiaramente astratte sono quelle funzionali (ad esempio quelle costruite come ausilio per i non vedenti), che non hanno bisogno di stimolare interesse e curiosità per l’oggetto della rappresentazione: non fanno leva sulla funzione *emotiva* della comunicazione. Tutte le rappresentazioni costruite con l’intento di comunicare qualcosa o sollevare curiosità fanno invece largo uso di questa funzione.

---

<sup>46</sup> <http://gmunu.mit.edu/sounds/sounds.html>

<sup>47</sup> <http://gmunu.mit.edu/sounds/sounds.html>

Questo è non solo comprensibile, ma anche consigliabile in termini di efficacia della comunicazione: quella istituzionale verso il pubblico generico ha infatti alcune regole da rispettare, tra cui una delle più comuni è l'enfasi sugli aspetti più spettacolari ed emotivamente coinvolgenti.

Quello che vogliamo sottolineare qui è come in tutti gli ambiti comunicativi sia opportuno mantenere alta l'attenzione sull'arbitrarietà del codice della rappresentazione usata. E questo, a maggior ragione in situazioni dominate dalla funzione più squisitamente *referenziale* (o didattica) della comunicazione.

Abbiamo osservato come rappresentazioni il cui carattere arbitrario è molto accentuato devono prevedere un certo esercizio di riconoscimento, quindi una parte di allenamento che possiamo far corrispondere, nel caso visuale, allo "studio della legenda" di un'immagine. Questo processo aumenta la sensazione di astrazione della rappresentazione rispetto a qualsiasi riferimento reale (e legato alla memoria) e quindi può essere visto come un'ulteriore assicurazione di consapevolezza del fatto che il codice della rappresentazione è arbitrario.

L'aspetto emotivo sarà necessariamente destinato a venire un po' meno, permettendo però di migliorare la consapevolezza della natura di ciò che si sta esplorando.

D'altra parte, anche quando la rappresentazione, essendo astratta, è percepita come "fredda" e distaccata (perché priva di suoi aspetti più emotivi e familiari), riteniamo che il fascino e il coinvolgimento personale si possano riconquistare inserendo la *narrazione*. Anche nelle rappresentazioni più asettiche, il racconto del significato, in termini di conoscenza e scoperta, lascia di nuovo spazio all'immaginazione e al fascino dell'ignoto (o difficilmente comprensibile perché in un certo senso inimmaginabile dall'uomo). Un'opportuna scelta di spunti narrativi, introdotti solo alla fine del percorso cognitivo (ed evitando metafore troppo spinte che rischierebbero di sostituirsi a quanto appreso), potrebbero influenzare meno l'obiettività dell'apprendimento, restituendo l'aspetto estetico (anche se solo immaginato e non visualizzato o "sonorizzato") della realtà studiata.

## Cap 3: Il progetto e la sperimentazione

### Introduzione

Le analisi e gli studi effettuati sulle rappresentazioni visuali utilizzate in ambito scientifico, sul loro ruolo e il loro effetto, hanno suggerito alcuni spunti interessanti, sui quali abbiamo basato la progettazione della nostra sperimentazione.

Riportiamo qui sinteticamente alcune considerazioni che saranno utili per introdurre la sperimentazione realizzata nell'ultima fase di questo lavoro.

1) Le immagini usate per la comunicazione di risultati scientifici hanno diverse caratteristiche, secondo il target a cui sono rivolte. Le differenze sostanziali sono nel grado di figuratività (maggiore nel caso di un pubblico più vasto e vario) e nel tipo di descrizioni che accompagnano la visualizzazione, fornendo gli elementi per la *lettura* della rappresentazione (spesso assenti nelle comunicazioni non specialistiche, o poco dettagliate). In altri termini, abbiamo visto come il codice, inteso come *contratto di lettura* è spesso sottointeso nel caso di comunicazioni rivolte a un pubblico non esperto.

2) Le rappresentazioni non visuali fanno relativamente poco uso dell'analogia, rimanendo più dichiaratamente arbitrarie: questo porta a un'interpretazione che fa maggior ricorso all'astrazione e quindi incorre meno facilmente in concetti fuorvianti dettati dalla somiglianza e dal legame con esperienza pregressa e memoria. Un maggiore simbolismo, come era lecito attendersi, evidenzia da subito l'intento di evitare qualunque analogia con la realtà o verosimiglianza, rendendo in un certo senso più scettico il destinatario, meno propenso a cercare spunti figurativi nella rappresentazione.

Sulla base di queste osservazioni, abbiamo studiato le rappresentazioni non visuali cercando il miglior compromesso tra resa comunicativa e contenuto informativo.

### 1. Valore informativo delle rappresentazioni

Riprendiamo qui le rappresentazioni di cui abbiamo discusso nei capitoli precedenti e proviamo ad analizzarle in termini di contenuto di informazione, cioè in base a quale sia, almeno potenzialmente, il loro potere didascalico<sup>1</sup> (non curandoci, per un attimo, del fatto che le regole usate per costruire rapporti di significazione siano esplicite o implicite).

Finora ci siamo infatti occupati solo di casi in cui il codice non è esplicito e quindi l'interpretazione libera è l'unico strumento di analisi della rappresentazione.

---

<sup>1</sup> Usiamo qui questo termine in senso di "didattico", "che ha lo scopo di insegnare".



Proviamo ora a chiederci:

- 1) quanta informazione si riesce a inserire nei diversi tipi di rappresentazioni (visuali e non)?
- 2) quanto complessa deve essere la spiegazione del codice (la cosiddetta *legenda*, in termini semplici) per permettere un buon grado di accesso all'informazione?

Per rispondere alla prima domanda, dobbiamo analizzare le diverse rappresentazioni in base alle potenzialità di quantizzazione e campionamento disponibili, sia dal punto di vista fisico che percettivo. Vogliamo conoscere cioè quanta informazione *comprensibile* può essere rappresentata facendo uso di diverse modalità di rappresentazione e di diversi sensi per esplorarla; quindi dobbiamo chiederci, da una parte, il livello di dettaglio a cui si *potrebbe* arrivare in termini fisici e, dall'altra, il limite a cui ci si *deve* fermare perché i dettagli siano ancora riconoscibili in termini sensoriali e cognitivi.

La seconda questione è legata invece al livello di arbitrarietà della rappresentazione, cioè a quante associazioni *volontarie* (e quindi non spontanee) l'utente della rappresentazione deve fare per poter mettere efficacemente in relazione il significante (la rappresentazione) con il significato (il dato o i dati rappresentati).

Per poter rispondere a queste domande dobbiamo analizzare come sono realizzate le rappresentazioni da una parte e come sono percepite da chi ne fruisce dall'altra.

## **1.1 Rappresentazioni visuali**

Per comprendere quanta informazione può essere inclusa in una rappresentazione visuale e quanta di questa è più o meno facilmente comprensibile, dobbiamo prima di tutto capire come funziona la resa digitale di un'immagine. Ci occuperemo qui delle immagini in falsi colori (quelle maggiormente utilizzate in ambito di comunicazione scientifica al grande pubblico).

La resa digitale di un'immagine in falsi colori prevede due passaggi: *campionamento spaziale* e *quantizzazione cromatica* (Figura 24), processi che definiscono, rispettivamente, la *risoluzione* e la *profondità cromatica* dell'immagine.

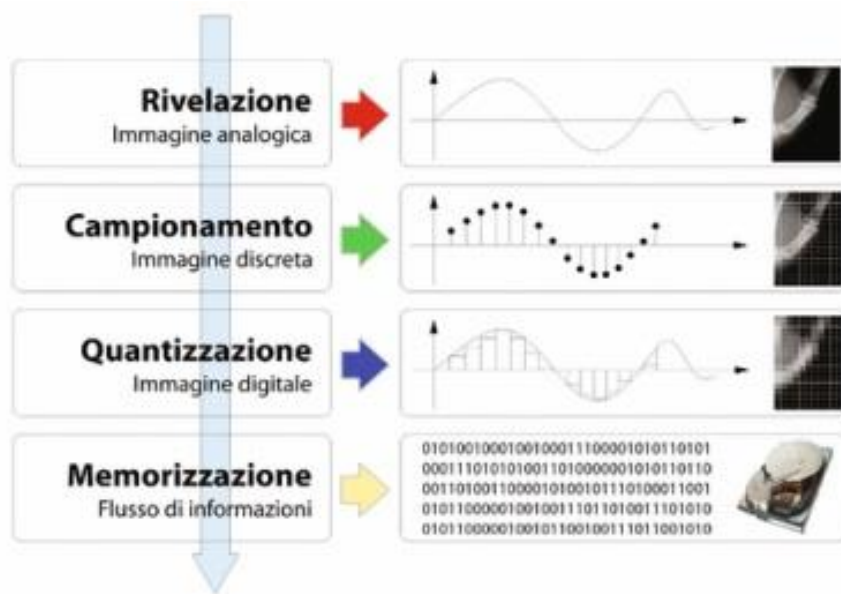


Figura 24 Schematizzazione della resa digitale di un'immagine<sup>2</sup>.

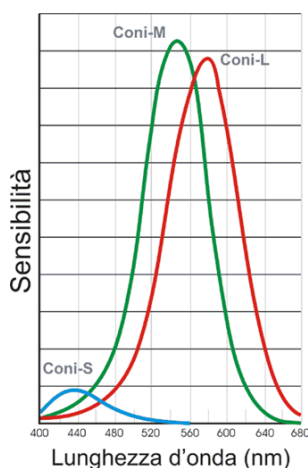
Il *campionamento spaziale* è, in termini semplici, la suddivisione dello spazio da rappresentare in tanti spazi molto piccoli (pixel) in cui l'immagine è uniforme (cioè è rappresentata da un unico valore). Maggiore è il numero di pixel, migliore è il dettaglio dell'immagine, che può risultare, nei migliori dei casi, anche *continua* alla vista, perché ha una risoluzione migliore di quella dell'occhio umano.

La *quantizzazione* consiste invece nell'assegnazione di un valore numerico all'elemento in cui è stato suddiviso lo spazio (pixel). Nelle immagini a colori, questo valore corrisponde al colore di quel determinato pixel (*quantizzazione cromatica*).

Come illustrato nel primo capitolo di questa tesi, le immagini più usate per la rappresentazione di dati non visibili sono le visualizzazioni in *falsi colori* (utilizzate per rappresentare qualsiasi onda elettromagnetica non visibile) e quelle in *pseudo colori* (utilizzate per rappresentare caratteristiche fisiche diverse dalle onde elettromagnetiche). La tecnica prevede la visualizzazione di un solo parametro (che non è il colore), ai cui diversi valori viene fatto corrispondere un diverso colore (un valore della quantizzazione cromatica), secondo una scala arbitraria, in cui sono definiti il colore che rappresenta il massimo e quello che rappresenta il minimo di intensità del parametro e la corrispondenza tra gli intervalli di variazione del parametro e quelli di variazione del colore (scala lineare, logaritmica, ecc.).

<sup>2</sup> Immagine tratta da M. Coriasco et al., *L'immagine digitale in diagnostica per immagini, Tecniche e applicazioni*, 2013.

La resa dal punto di vista informativo è legata alla capacità dell'occhio umano di distinguere i colori. La luce percepibile dall'occhio umano ha lunghezze d'onda comprese tra circa 400 e circa 700 nanometri (miliardesimi di metro); ad onde caratterizzate da diversi intervalli di lunghezze d'onda corrispondono diversi colori percepiti. Non approfondiremo nel dettaglio i meccanismi che portano alla percezione dei colori<sup>3</sup>: ci basta notare in questa sede che quello che noi percepiamo come colore è il risultato della risposta elettrica dei fotorecettori detti *coni* presenti sulla nostra retina<sup>4</sup> e della successiva elaborazione di questa risposta dal cervello. I coni sono di tre tipi, ognuno con una curva di sensibilità diversa che corrisponde a una capacità di reazione più specifica ad alcune lunghezze d'onda (Figura 25). La sensibilità dei coni, come si vede in figura, è *a banda larga* cioè questi fotorecettori reagiscono a diversi tipi di impulsi luminosi (tutte le lunghezze d'onda incluse sotto la “campana”), però in modo diverso, cioè si attivano con maggiore probabilità se colpiti da un fotone con lunghezza d'onda corrispondente ai punti in cui la campana è “più alta”.



**Figura 25** Sensibilità spettrale dei coni: in base alla loro maggiore sensibilità, i tre tipi di coni S, M e L sono anche detti, rispettivamente coni blu, verdi e rossi.

Il colore percepito dall'occhio umano è il risultato della somma dei segnali elettrici inviati da questi tre diversi fotorecettori<sup>5</sup>. Il meccanismo di creazione dello stimolo di colore è simile a quello della *tricromia RGB (red, green, blu)* usata dei televisori e in diversi dispositivi

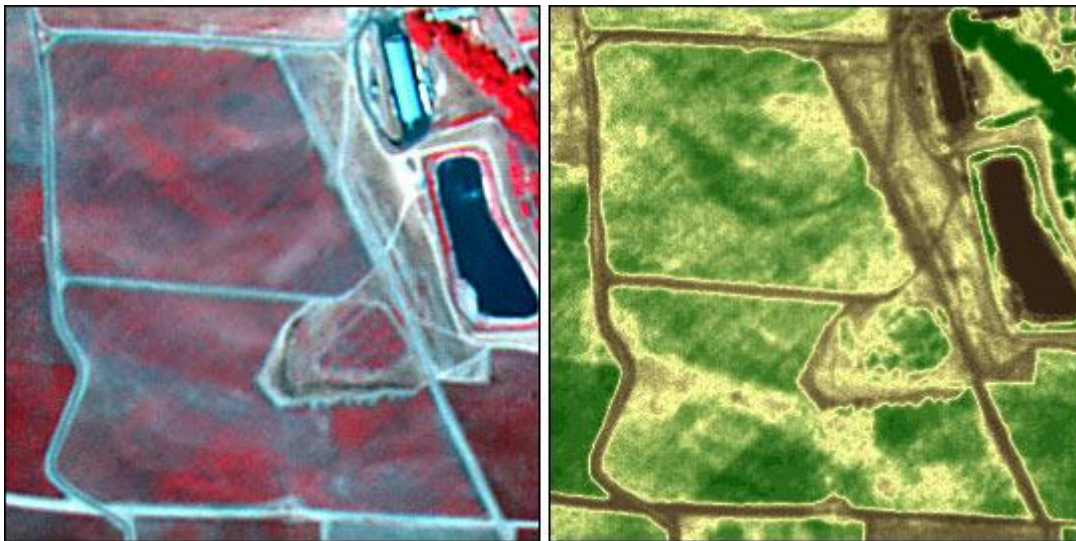
<sup>3</sup> Per un'analisi dettagliata sulla vista, la visione e la percezione dei colori, si rimanda a un qualsiasi testo di fisiologia o anatomia dell'occhio. Per una veloce review, si consulti: <https://it.wikipedia.org/wiki/Colore>.

<sup>4</sup> Sfruttiamo, per questa breve descrizione, gli assunti di base della *Teoria della specificità*, secondo cui solo i coni sono responsabili della visione dei colori (visione diurna) mentre l'altro tipo di fotorecettori, i *bastoncelli* sono deputati alla percezione della maggiore o minore intensità luminosa (visione notturna).

<sup>5</sup> Thomas Young (1773-1829) fu il primo a ipotizzare che i recettori per la visione diurna fossero di tre tipi e che ciascun tipo corrispondesse a una tinta primaria. Ogni altra tinta sarebbe dovuta risultare dalla stimolazione simultanea dei tre tipi di recettori, in modi opportuni. Scriveva infatti nel 1801: “Ora, poiché è praticamente impossibile supporre che ciascun punto sensibile della retina contenga un numero infinito di particelle, ciascuna capace di vibrare perfettamente all'unisono con ogni possibile andamento ondulatorio, diventa necessario ipotizzare che il numero sia limitato, per esempio ai colori principali: rosso, giallo e blu...” Nell'intuizione di Young c'è solo un piccolo errore: il secondo colore non è giallo ma verde.

elettronici<sup>6</sup>, in cui il colore risultante è scomponibile nelle sue tre componenti rossa, verde e blu.

La capacità di percezione delle sfumature di colore, e quindi delle variazioni del parametro rappresentato nell'immagine in falsi colori dipende da diversi fattori (anche psicologici) ed è fortemente individuale. Riteniamo che i risultati più efficaci in termini di comprensibilità siano ottenuti con visualizzazioni in cui sono usati colori molto intensi (tipo colori pastello) e molto diversi tra loro (Figura 26), quindi spesso anche poco *naturali*.



**Figura 26** Immagine in infrarosso (sinistra, in pseudo colori) e luce visibile (destra) di un campo coltivato a vigneti<sup>7</sup>.

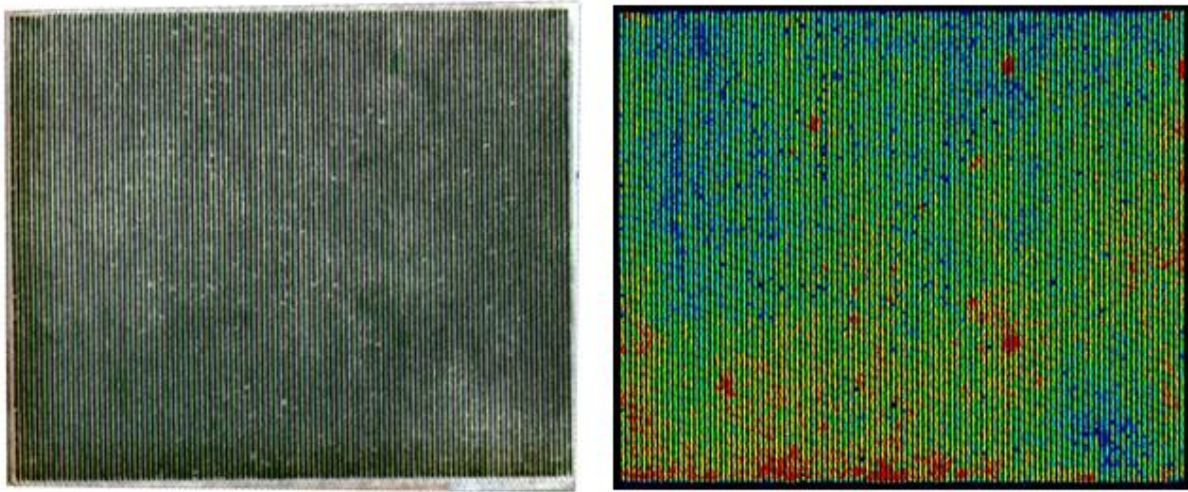
Di solito, anche in ambito accademico, le visualizzazioni in falsi o pseudo colori sono mostrate per “dare il senso” della variazione di un parametro; non che non sia possibile risalire dalla visualizzazione ai dati numerici, solo questo non è possibile senza usare lo stesso algoritmo (che in questo caso rappresenta un *codice* propriamente inteso) che ha dato luogo a quella specifica visualizzazione.

Per quanto riguarda il secondo problema che ci stiamo ponendo e cioè quanto complessa deve essere la spiegazione del contratto di lettura dell'immagine, quindi la sua *legenda*, per le rappresentazioni in falsi colori può essere anche molto semplice (vedi Figura 27).

---

<sup>6</sup> Oggi quasi completamente sostituita dalla *quadricromia* CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Key black), più efficace per la rappresentazione di colori tenui.

<sup>7</sup> [http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Grapes/grapes\\_3.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Grapes/grapes_3.php)



**Figura 27** Sul sito di provenienza dell'immagine<sup>8</sup>, la spiegazione dei falsi colori (a destra) è "The image on the right shows the vine health (blue = low vigour; red = high vigour)".

È quindi possibile visualizzare immediatamente il dato rappresentato, mentre è più difficile dedurre la sua corrispondenza con i parametri fisici rappresentati (nel caso di Figura 27, ad esempio, cos'è che rappresenta la "salute" di un vigneto?).

La spiegazione dell'immagine in pseudo colori a sinistra in Figura 26 è più estesa:

Healthy vegetation strongly reflects infrared light, but absorbs most green light. The false color image at left is made up of the near infrared, red, and green bands from the ADAR 5500 remote sensing system in the red, green, and blue channels of the image. Vigorous vegetation, such as the stand of trees at upper right, are bright red. Stressed vegetation, like the vines running diagonally through the lower vineyard, is bluish. Roads, water, and buildings are bright white or dark blue<sup>9</sup>.

In questo caso, risulta chiaro che il parametro che discrimina tra vegetazione sana e meno sana è la *riflettività* in infrarosso (cioè quanta radiazione infrarossa viene riflessa), rappresentata con una *paletta* di colori che va dal blu (minimo, vegetazione poco sana) al rosso (massimo, vegetazione più sana).

Nei prossimi paragrafi, procediamo con lo stesso tipo di analisi in merito alle rappresentazioni tattili e acustiche.

<sup>8</sup> <http://www.remotesensing.com.au/precvit.html>

<sup>9</sup> [http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Grapes/grapes\\_3.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Grapes/grapes_3.php)

Per quanto riguarda l'aspetto percettivo (la seconda delle due questioni che ci servono per valutare il contenuto informativo della rappresentazione), non faremo distinzione tra vedenti e non vedenti perché, nonostante il tatto e l'udito abbiano un ruolo decisamente più marginale nella percezione da parte di un vedente, riteniamo che non ci sia una differenza fisiologica<sup>10</sup> nelle potenzialità di utilizzo di questi due sensi.

Gli psicologi della percezione ed i fisiologi hanno ormai definitivamente acclarato che i ciechi non dispongono di una sensibilità particolarmente acuta: le soglie (di percezione, ndr) sono uguali a quelle dei vedenti. Il tatto e l'udito dei ciechi sono semplicemente più esercitati e, inoltre, tali soggetti sono molto più attenti ai messaggi che ricevono mediante questi canali. (...) la percezione del mondo dei non vedenti è parzialmente diversa: più povera, ma non meno concreta ed oggettiva; in ogni caso, essa si avvale di dati disponibili anche per i vedenti, solo che questi fossero interessati ad utilizzarli<sup>11</sup>.

## 1.2 Rappresentazioni tattili

Per definire il livello di informazione che può essere contenuto in una rappresentazione tattile, bisognerebbe studiare in dettaglio le tecniche di stampa e riproduzione in rilievo e le teorie di fisiologia e psicologia della percezione tattile<sup>12</sup>.

Ci limitiamo qui a riportare alcune caratteristiche della creazione delle rappresentazioni tattili che riteniamo rilevanti per la definizione della nostra sperimentazione.

Le riproduzioni tattili (ad esempio quelle di quadri in forma di bassorilievi) tenderebbero a essere *figurative* quasi nella stessa misura in cui lo sono i loro corrispettivi visuali, in quanto riproducono le caratteristiche fisiche degli oggetti rappresentati, ovviamente entro i limiti sensoriali del tipo di riproduzione (quindi solo per forma e disposizione spaziale, e non per colore). Si tratta di un livello di figuratività però necessariamente inferiore, sia perché, come abbiamo già osservato nel capitolo precedente, le modalità esplorative del tatto (analitico e sequenziale) sono sostanzialmente diverse da quelle della vista (sintetica e istantanea) sia perché la riproduzione tattile, per essere comprensibile, deve essere sotto molti aspetti sostanzialmente diversa da quella visuale.

---

<sup>10</sup> Esiste invece molto probabilmente una differenza sostanziale nello sviluppo e nell'educazione del senso dell'udito nei non vedenti. Si veda, a questo proposito, il testo di A. Romagnoli, *Ragazzi Ciechi*, 1973, in cui egli descrive alcune sorprendenti capacità deduttive delle forme e dello spazio, legate ai soli stimoli uditivi.

<sup>11</sup> A. Grassini, *cit.*

<sup>12</sup> Si parla in termini più specifici di percezione *aptica*, che è la combinazione tra percezione tattile (cioè il riconoscimento di un segnale percepibile con il tatto) e della *propriocezione* (o *cinestesia*, cioè la percezione e il riconoscimento della posizione del proprio corpo nello spazio e dello stato di contrazione dei propri muscoli).

Esiste innanzitutto un'altezza minima, definita in 0,5 millimetri, di rilievo percepibile al tatto, per una persona con senso del tatto normalmente sviluppato; questo valore è comunque indicativo, perché dipende molto dal tipo di supporto utilizzato (più liscio o meno liscio) e dalla capacità o allenamento dell'utente.

La resa in forma tattile di un'immagine deve poi seguire alcune regole necessarie a rendere il contenuto intelligibile anche a chi non ha mai avuto esperienza della vista. I dettagli che possono risultare essenziali nella comprensione di un'immagine tramite esplorazione visiva possono essere anche molto diversi da quelli che invece risultano rilevanti in un'esplorazione tattile: ad esempio, un terreno umido o rugoso può avere lo stesso aspetto (in foto o in un disegno) di uno più secco e liscio, pur suscitando stimoli tattili radicalmente diversi. In questo senso le rappresentazioni tattili comprensibili o riproducibili da un non vedente sono sostanzialmente diverse dalle rappresentazioni visuali dello stesso oggetto e devono essere pensate diversamente<sup>13</sup>. La scelta dei dettagli rilevanti e delle modalità di rappresentazione gioca quindi un ruolo molto importante: ad esempio, nella riproduzione tattile di un disegno bisogna eliminare qualsiasi riferimento all'ombreggiatura dell'immagine, perché gli effetti di luce non sono significativi per un non vedente; o ancora si deve evitare di rappresentare oggetti sovrapposti i cui contorni non sono ben definiti, rappresentandoli invece uno di fianco all'altro, per evitare che si crei confusione sulla natura dei singoli oggetti. Infine è sempre opportuno evitare di rappresentare le immagini in prospettiva, sostituendole con proiezioni perpendicolari (più "reali" per un non vedente)<sup>14</sup>.

In termini di percezione, la rappresentazione tattile di oggetti molto grandi necessita un'ulteriore educazione, nel non vedente, al riconoscimento del *fattore di scala*. È sostanzialmente diverso vedere un oggetto in miniatura o riconoscerlo al tatto: i vedenti percepiscono, ad esempio, una casa istantaneamente, in tutte le sue parti, sia essa dal vivo, in foto (o addirittura in un disegno più o meno stilizzato) o in una miniatura, riconoscendo che si tratta dello stesso tipo di oggetto, perché presenta le stesse caratteristiche visuali dell'oggetto

---

<sup>13</sup> Anche per questo l'immagine mentale che un non vedente congenito ha, per esempio, di una casa, differisce sostanzialmente da quella che comunemente hanno i vedenti, essendo legata alla personale esperienza esplorativa dello spazio da rappresentare. Si vedano, a questo proposito, i due esempi riportati alle pp. 7-8 del contributo di E. Polato, *Per immaginare, la mente ha bisogno di immagini, L'importanza dei libri illustrati tattilmente come mediatori per l'alfabetizzazione e la relazione nei bambini in età prescolare*, in occasione della manifestazione "Libri che prendono forma" (Roma 17 marzo 2010, MiBAC - FNIPC).

<sup>14</sup> Fonte:  
<http://share.dschoia.it/icnasi/Shared%20Documents/SCUOLA%20POLO%20HC/FORMAZIONE%20DOCENT I%20NON%20SPECIALIZZATI%20a.s.%202010-11/deficit%20non%20vedenti-%20Lova/orientamento%20e%20mobilita.pdf>.

rappresentato. Per un non vedente congenito, la miniatura di un oggetto molto grande non ha le stesse caratteristiche tattili dell'originale. Ad esempio, mentre non è possibile esplorare sinteticamente un palazzo o un paesaggio in dimensioni naturali con il solo uso del tatto (o meglio, è molto difficile e macchinoso trarre da questa esplorazione un'immagine mentale sintetica), perché l'esplorazione è vincolata alla dimensione spaziale raggiungibile con il corpo, la miniatura di un palazzo o la rappresentazione tattile di un disegno che mostra un paesaggio sono invece quasi sinteticamente esplorabili con il solo tatto in tutte le loro parti. Per questo motivo, la comprensione delle rappresentazioni in scala deve essere sviluppata, nei non vedenti congeniti, a partire da rappresentazioni solo poco più piccole o più grandi, per poi passare alle rappresentazioni di grandi edifici o opere architettoniche in dimensioni esplorabili al tatto<sup>15</sup>.

### **1.3 Rappresentazioni acustiche**

Per quanto riguarda la possibilità di codifica di un dato in forma acustica, abbiamo già descritto il processo di *sonificazione* di dati nel capitolo precedente. Abbiamo anche osservato come la *rappresentabilità* di dati attraverso questa procedura sia limitata dalla possibilità di mostrare l'andamento di un solo parametro per volta, in funzione di una sola altra grandezza. Ad esempio, la sonificazione è molto valida per rappresentare l'andamento di una variabile nel tempo o, nel caso di riproduzioni spaziali, lungo un asse (per esempio l'aumento o la diminuzione della temperatura – e quindi dell'emissione infrarossa – lungo una direzione esplorata linearmente attraverso un sensore). Il suo limite è che non è invece adatta a rappresentare in maniera comprensibile l'andamento di più variabili fisiche contemporaneamente o l'andamento di una variabile fisica lungo due dimensioni spaziali (per esempio il corrispondente di una mappa in falsi colori della temperatura lungo un piano, ottenuta da emissioni in infrarosso).

Sottolineiamo qui come la corrispondenza in questo tipo di rappresentazione sia tipicamente tra l'intensità del parametro rappresentato (altezza lungo l'asse y nel diagramma che rappresenta il dato) e l'altezza del suono. Questa corrispondenza non trova riscontro nella corrispondenza tra le caratteristiche fisiche del suono e quelle percettive, per cui l'intensità del suono (cioè il suo volume) corrisponde all'ampiezza dell'onda sonora, mentre maggiori o minori altezze del suono corrispondono a maggiori o minori frequenze dell'onda sonora.

---

<sup>15</sup> Cfr. Museo Tattile Statale Omero, *L'arte a portata di mano*, Armando Editore, 2006, p.80.



Si potrebbe adottare la corrispondenza fisica tra le due intensità (del parametro e del suono) e quindi, in termini di significante e significato, un volume più alto corrisponderebbe a una maggiore intensità del segnale. Questa analogia potrebbe però portare a falsare l'effetto della rappresentazione, creando delle aspettative legate alla propria esperienza e alla memoria, che potrebbero portare a interpretazioni fuorvianti (ad esempio assumere che il parametro rappresentato sia effettivamente udibile, come nel caso delle onde radio o delle onde gravitazionali).

Nel caso della nostra sperimentazione, per evitare confusione tra parametri fisici e acustici abbiamo scelto di rappresentare l'intensità in forma tattile e non sonora.

Dal punto di vista fisiologico, possiamo fare alcune osservazioni generali sul meccanismo di funzionamento dell'orecchio umano<sup>16</sup>:

- 1) le nostre orecchie percepiscono suoni di diversa altezza, corrispondenti a onde sonore con maggiore o minore frequenza di vibrazione: non esiste corrispondenza tra la natura dello stimolo e il tipo di percezione (non percepiamo una vibrazione, ma un suono stabile che ha una determinata altezza) ma esiste esatta corrispondenza tra frequenza dell'onda sonora e altezza percepita;
- 2) l'orecchio umano è in grado di riconoscere intervalli di altezza equivalenti anche ad altezze di riferimento molto diverse (una terza tra le note *do* e *mi* è la stessa, sia che si considerino il *do* e il *mi* "centrali" sia che si considerino le stesse note un'ottava sopra);
- 3) l'aumento di intensità sonora, che è lineare, viene percepito dall'orecchio in modo logaritmico.

La percezione acustica effettiva è però legata alla capacità di riconoscere le caratteristiche del suono, che risulta molto variabile da individuo a individuo e anche dipendente dall'educazione acustica, quando presente, cioè a un certo allenamento dell'orecchio (ad esempio dovuto a un qualche tipo di formazione in ambito musicale).

In ogni caso, come già osservato (e come risulta anche dalla nostra sperimentazione) l'abilità acustica sembra prescindere quasi nettamente, a priori, dall'abilità visiva.

---

<sup>16</sup> Tesi di laurea di G. Bevilacqua, Punto zero. Teorie sulla sinestesia per il prototipo di una performance audiovisiva. Politecnico di Milano, 2012, basata su un esempio di Gianni Zanarini, docente di Fisica e Acustica musicale al DAMS di Bologna e sugli scritti di R. Pierantoni, *La trottola di Prometeo. Introduzione alla percezione acustica e visiva*, 1996 e J. R. Pierce, *The science of musical sound*, 1983.

## **2. Descrizione della sperimentazione**

Una volta definiti i limiti delle rappresentazioni visuali, in merito alla difficoltà di trasferimento efficace del contenuto informativo, dovute a un'eccessiva *figuratività*, sempre presente, anche se in modo non voluto o consapevole, anche nel caso di visualizzazioni che hanno come oggetto parametri fisici non visibili e quindi arbitrariamente ricondotti a qualità visuali dell'immagine (i colori, principalmente), ci siamo posti il problema di ideare e testare rappresentazioni realizzate per altri sensi e non per la vista.

Abbiamo per questo analizzato le proprietà espositive di rappresentazioni non visuali, cercando di individuarne le potenzialità e i limiti.

Il primo passo è stato cercare di individuare quali potessero essere le migliori in termini di trasferimento del contenuto informativo. In seguito, ci siamo preoccupati di capire quali fossero i limiti percettivi, sia per i vedenti sia per i non vedenti, delle informazioni presenti nella rappresentazione scelta. Infine ci siamo chiesti se le rappresentazioni scelte contenessero analogie che rischiavano di portare a interpretazioni fuorvianti legate all'esperienza e alla memoria degli utenti della rappresentazione.

### **2.1 Scelta del campione**

La scelta del pubblico a cui rivolgere la sperimentazione è stata il primo passo, perché le rappresentazioni (e gli scopi che queste dovevano servire a testare) dovevano essere progettate sin dal principio in funzione di uno specifico target.

In merito all'età del target di riferimento, abbiamo scelto di rivolgerci a un pubblico di adulti, per eliminare, almeno in questa prima fase, la complessità di valutazione dell'educazione sensoriale e della formazione psico-cognitiva, soprattutto nel caso dei non vedenti.

Data la necessità di testare la comprensibilità di rappresentazioni non visuali, abbiamo scelto di considerare un campione misto, di vedenti e non vedenti, per avere i necessari elementi di controllo che ci garantissero, da una parte, che la rappresentazione fosse comprensibile indipendentemente dall'esercizio dei sensi coinvolti e dall'altra che la percezione sinestetica di vista più un altro senso non portasse a risultati sensibilmente diversi dalla sola percezione non visuale.

Volendo infatti testare sensi che per i non vedenti sono *vicarianti* della vista, dovevamo essere in grado di definire (e circoscrivere) l'effetto che un maggiore allenamento di quei

sensi avrebbe potuto avere sul potere informativo della rappresentazione. D'altra parte, la visione dell'apparato sperimentale, contestuale alla sperimentazione attraverso un altro senso, avrebbe potuto generare collegamenti (inconsci) e interpretazioni legate all'aspetto estetico della rappresentazione (nonostante questo fosse volutamente molto povero).

Sin da subito si è scelto di chiedere solo la partecipazione di non vedenti *congeniti* (dalla nascita) per poter capire in che modo le rappresentazioni proposte servono alla costruzione di contenuto di per sé, senza influenze legate alla memoria visiva. Nel nostro caso, trattandosi di rappresentazioni di oggetti non visibili per loro stessa natura fisica, questo aspetto è stato ritenuto particolarmente importante anche per limitare l'influenza di eventuali pregiudizi dovuti alla conoscenza di una rappresentazione visuale falsa, di una realtà che di per sé non è visibile e non ha alcuna corrispondenza con la realtà visuale.

Il coinvolgimento del campione di non vedenti è stato possibile grazie alla collaborazione con l'Istituto dei Ciechi "Francesco Cavazza" di Bologna, al cui personale ci siamo rivolti sin dalle primissime fasi di questo progetto di tesi, per avere supporto nel definire il contesto, gli aspetti teorici e le fonti letterarie dell'intera trattazione. Il coinvolgimento di due gruppi di non vedenti è stato fatto su invito del Dott. Fernando Torrente, consulente presso l'Istituto Cavazza per problematiche didattiche poste dall'utilizzo delle nuove tecnologie nella scuola. Il primo gruppo è costituito da persone di età compresa tra i 45 e i 60 anni, il secondo invece da ragazzi di età compresa tra i 25 e i 32 anni. Nella presentazione del progetto, è stato riferito di una generica sperimentazione a tema scientifico (più precisamente astronomico in alcuni casi, il che come vedremo nei risultati della sperimentazione, ha a volte creato specifiche aspettative).

Il gruppo di vedenti è stato interessato alla sperimentazione perché frequentava il corso di Didattica della Fisica tenuto dalla Prof.ssa Barbara Pecori (tutor di questo lavoro di tesi). Il progetto è stato presentato durante una delle lezioni del corso e in quell'occasione si è anche chiesta la partecipazione di alcuni volontari alla sperimentazione. In questa fase non è stato indicato in che cosa consistesse la prova che i partecipanti sarebbero stati invitati a svolgere, mentre è stato possibile dettagliare meglio il tema del progetto, quindi non abbiamo riscontrato particolari aspettative al momento della sperimentazione.

È doveroso osservare che il gruppo di studenti vedenti coinvolti nella sperimentazione avevano una preparazione in Fisica superiore alla media di un pubblico generico. Questo però, come vedremo nel seguito, non ha portato a differenze sostanziali nei risultati della

sperimentazione (costruita con l'intento di non richiedere requisiti disciplinari), tranne nel caso della rappresentazione acustica, in riferimento alla quale si è riscontrata una maggiore proprietà di linguaggio del gruppo di vedenti in termini di caratteristiche fisiche dell'onda sonora (*frequenza, ampiezza e forma*) invece che sulle proprietà acustiche del suono (*altezza, intensità e timbro*).

## 2.2 Oggetto della rappresentazione

Come già detto, il nostro interesse principale sono le rappresentazioni di oggetti o fenomeni che per loro natura sono inaccessibili ai nostri sensi. L'oggetto delle rappresentazioni sperimentate in questa tesi sono le **onde elettromagnetiche radio**<sup>17</sup>.

Quelle che abbiamo rappresentato per la sperimentazione di questo lavoro sono onde radio emesse naturalmente da oggetti celesti.

I dati rappresentati sono tratti da osservazioni reali, ottenute con il radiotelescopio VLA (*Very Large Array*) di Socorro, Nuovo Messico, USA (Figura 28), un sistema di 27 antenne che fa parte del National Radio Observatory (NRO) statunitense. In particolare, i dati usati sono inclusi nella NVSS (*NRAO/VLA Sky Survey*).



**Figura 28** *Very Large Array*, in sistema per la ricezione delle onde radio astronomiche costituito da 27 antenne paraboliche, situato in New Mexico<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Per maggiori dettagli sulla natura delle onde radio e sui metodi di rappresentazione comunemente utilizzati, si veda l'Appendice 1.

### 2.3 Scelta della modalità di rappresentazione

Il nostro progetto si basa sull'idea guida che, nel caso di oggetti e fenomeni non visibili per loro natura e quindi mai percepiti in modo diretto (e mai percepibili) attraverso i sensi, sia quantomeno non necessario (e in alcuni casi possa rappresentare una complicazione) passare attraverso una visualizzazione dei dati originali, che sottoporrebbe inutilmente la rappresentazione ai vincoli e alle regole della percezione visiva. Non solo: la visualizzazione, come qualsiasi altro “equivalente percettivo” di qualcosa che non è percepibile e viene reso in forma figurativa ai nostri sensi, può comportare la costruzione di metafore e analogie con la realtà sensoriale conosciuta. E, se è vero che tali parallelismi possono essere in generale molto utili dal punto di vista dell'efficacia della comunicazione, perché hanno il vantaggio di ancorare, rendendoli più stabili, i concetti rappresentati alla propria memoria ed esperienza personale, è altrettanto vero che, soprattutto quando l'arbitrarietà di questi collegamenti concettuali non è dichiarata, la rappresentazione rischia di non raggiungere l'obiettivo comunicativo sperato, portando a un'interpretazione errata, e pericolosamente incisiva. Per questi motivi, abbiamo ritenuto necessario eliminare tutti i parametri di somiglianza e figuratività, valutati “rischiosi” in termini di corretta comprensione del contenuto della rappresentazione.

Inoltre, abbiamo ritenuto che adottare modalità di rappresentazione *non visuale* dei contenuti potesse essere utile a renderli comprensibili anche a soggetti che non hanno nella vista il loro senso primario. In alcuni casi, come abbiamo visto illustrando alcune sperimentazioni già esistenti, la rappresentazione “alternativa” può mettere in evidenza caratteristiche fisiche e proprietà diverse da quelle mostrate con una rappresentazione esclusivamente visiva. Potrebbe essere addirittura utile a esprimere un numero maggiore di contenuti, fornendo una presentazione più complessa e completa della realtà non visibile studiata.

Ci siamo posti quindi il problema di quali sensi coinvolgere nella rappresentazione di fenomeni fisici non visibili, in modo da rendere la comunicazione del contenuto il più efficace possibile.

Abbiamo escluso gusto e olfatto, da una parte per ragioni logistiche legate alla difficoltà di realizzare e sperimentare e una rappresentazione sensoriale che facesse uso di questi sensi, dall'altra anche per questioni fisiologiche legate alla minor flessibilità (maggiore persistenza dello stimolo sensoriale) tipica di questi due sensi e alla minore capacità di campionamento

---

<sup>18</sup> Immagine cortesia di NRAO/AUI (National Radio Astronomy Observatory (NRAO) and Associated Universities, Inc.): <http://images.nrao.edu/90>.

assoluto, cioè di riconoscimento di stimoli diversi indipendentemente dalle condizioni al contorno della sperimentazione<sup>19</sup>.

In fase di progettazione della sperimentazione, abbiamo analizzato le potenzialità di rappresentazioni sensoriali che fanno uso di tatto e udito. Dalle ricerche sull'utilizzo di questi due sensi e dalle nostre considerazioni sul valore informativo delle relative rappresentazioni era infatti risultata evidente la loro idoneità a veicolare un buon numero di informazioni.

Abbiamo escluso il tattile termico, in base alle seguenti valutazioni:

- 1) limitazione in termini di valori rappresentabili: il massimo e il minimo sarebbero stati vincolati dalla possibilità di toccare oggetti troppo caldi o troppo freddi senza subire danni ai polpastrelli (minimo 0 gradi, massimo 40-45, indicativamente);
- 2) difficoltà di riconoscere variazioni (*gradienti*) di temperatura troppo piccole, quindi ulteriore limitazione nel numero di intervalli (e quindi di valori rappresentabili).

Abbiamo quindi scelto di realizzare una rappresentazione tattile (per contatto e pressione) e una sonora.

## **2.4 Fasi della sperimentazione**

Al fine di mettere a punto la versione definitiva della rappresentazione scelta e della prova con la quale testare la rappresentazione è stato necessario premettere alla fase della sperimentazione vera e propria una fase di pre-sperimentazione.

In questa prima fase, il nostro obiettivo è stato anche quello di ottimizzare il supporto e la consulenza fornita al nostro lavoro dal personale dell'Istituto Cavazza. Abbiamo quindi scelto di realizzare la rappresentazione tattile attraverso la stampante *Minolta* messa a disposizione, nell'ambito di questa collaborazione, dall'Istituto Cavazza e di farla testare contestualmente a un non vedente, durante la stessa sessione di lavoro. L'esplorazione tattile di una mappa in 2D è infatti una procedura abbastanza standard per un non vedente (specie se adulto), quindi abbiamo deciso di sfruttare questa "familiarità sensoriale" per raggiungere velocemente lo scopo di conoscere i limiti e le potenzialità rappresentative della mappa tattile realizzata: quello che ci chiedevamo era non tanto se la mappa fosse fruibile ma, semplicemente, da un punto di vista tecnico, quali fossero le soglie percepibili di altezza e quelle accettabili di dettaglio, al fine di evitare confusione al tatto.

---

<sup>19</sup> Fonte: [http://www.treccani.it/enciclopedia/olfatto-e-gusto\\_\(Enciclopedia\\_della\\_Scienza\\_e\\_della\\_Tecnica\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/olfatto-e-gusto_(Enciclopedia_della_Scienza_e_della_Tecnica)/)

Non abbiamo ritenuto interessante sperimentare la stessa mappa tattile con un gruppo di vedenti perché la verifica effettuata con il soggetto non vedente aveva già fornito il massimo di informazione che ci proponevamo di ricavare in questa fase.

La mappa sonora è invece stata realizzata come oggetto puramente acustico (suoni emessi da un computer, senza alcun altro riferimento): in questo caso non avevamo alcun parametro di riferimento in merito alla fruibilità della rappresentazione (se e in che termini questa sarebbe stata comprensibile, quanto e come fosse eventualmente necessario adattarla per un uso più efficace), quindi abbiamo scelto di fare una verifica preliminare con un gruppo di vedenti, in modo da poter usare il *feedback* ricevuto per raffinare e portare a termine la rappresentazione. In questo caso, per usare al meglio le sessioni sperimentali che avremmo potuto realizzare all'Istituto Cavazza, abbiamo scelto di non far testare, in questa prima fase, la rappresentazione solo uditiva ai non vedenti.

In entrambe le verifiche (tattile e uditiva) il codice di lettura della rappresentazione è stato dichiarato solo dopo una prima fase di esplorazione libera, perché abbiamo ritenuto interessante cercare di cogliere anche eventuali aspetti, dubbi e risposte non previsti in fase di progettazione.

L'intenzione iniziale era quella di procedere, dopo queste prime verifiche, con una sperimentazione statistica, su un campione allargato di vedenti e non vedenti per entrambe le rappresentazioni "mono-sensoriali" realizzate.

I risultati della verifica preliminare (che riporteremo nel prossimo paragrafo) ci hanno invece convinti a realizzare direttamente una rappresentazione che combinasse i due stimoli percettivi e a svolgere la sperimentazione allargata con vedenti e non vedenti direttamente su una mappa tattile e sonora.

Nella Tabella 2 sono schematizzate le diverse fasi sperimentali, con i relativi obiettivi e le strategie di controllo del raggiungimento degli obiettivi.

	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>OBIETTIVI</b>	<b>MODALITÀ di riscontro degli obiettivi</b>
1	Rappresentazione <b>solo tattile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificare che l'input tattile fosse intelligibile.</li> <li>• Capire che tipo di informazione si riesce a reperire dalla mappa tattile.</li> </ul>	<b>VERIFICA con NON VEDENTI:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- esplorazione libera individuale senza dichiarazione del codice;</li> <li>- esplorazione guidata a seguito delle informazioni sulla codifica;</li> </ul>

			- domande e raccolta feedback.
2	Rappresentazione <b>solo uditiva</b>	<p>Definire entro quali limiti sia possibile:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• assegnare degli attributi agli input sonori;</li> <li>• localizzare spazialmente il segnale sonoro;</li> <li>• caratterizzare il diverso tipo di segnale, una volta esplicitato il codice, in termini di intensità e frequenza.</li> </ul>	<p>VERIFICA con VEDENTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- esplorazione libera individuale senza dichiarazione del codice;</li> <li>- esplorazione guidata a seguito delle informazioni sulla codifica;</li> <li>- domande e raccolta feedback</li> </ul>
3	Rappresentazione <b>tattile+uditiva</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verifica della comprensibilità della rappresentazione al primo impatto;</li> <li>• Verifica del tipo di informazione che si riesce a dedurre senza dichiarazione del codice.</li> <li>• Verifica della comprensibilità dei diversi input una volta dichiarato il tipo di codifica.</li> </ul>	<p>VERIFICA con NON VEDENTI,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- esplorazione libera, prima collettiva, poi individuale (immediata definizione del codice)</li> <li>- Feedback parzialmente guidato.</li> </ul> <p>SPERIMENTAZIONE con VEDENTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- esplorazione libera individuale senza dichiarazione del codice;</li> <li>- esplorazione guidata a seguito delle informazioni sulla codifica;</li> <li>- domande e raccolta feedback.</li> </ul> <p>SPERIMENTAZIONE con NON VEDENTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- esplorazione libera individuale senza dichiarazione del codice;</li> <li>- esplorazione guidata a seguito delle informazioni sulla codifica;</li> <li>- domande e raccolta feedback.</li> </ul>

**Tabella 2** Fasi del progetto, obiettivi e modalità di riscontro.



## 2.5 Dettaglio delle rappresentazioni utilizzate

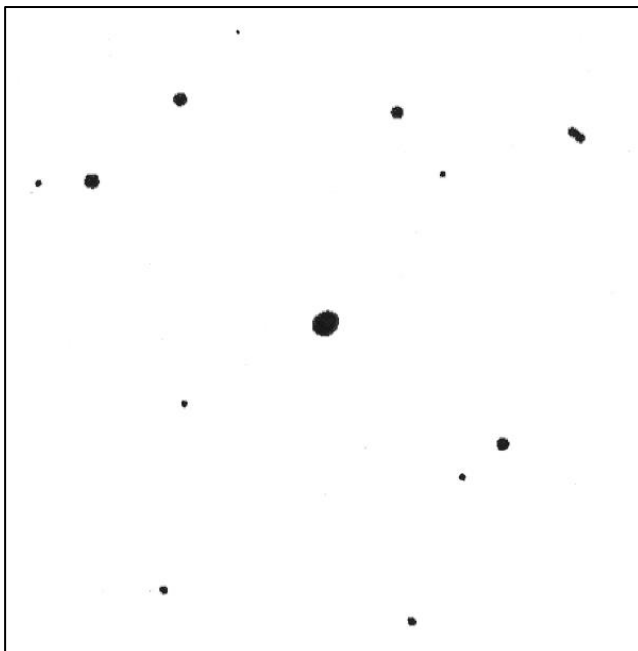
### *Rappresentazione solo tattile*

Abbiamo elaborato una rappresentazione tattile realizzata a partire da immagini in bianco e nero, rese in forma tattile con la tecnica *Minolta*, che permette di realizzare disegno a rilievo partendo da qualsiasi foglio su cui siano impressi dei caratteri neri.

La tecnica consiste nel disegnare (o fotocopiare) il disegno che si vuole rendere il rilievo su un foglio (disponibile in A3 e A4) di carta specifica su cui è depositato uno strato di *microcapsule* sensibili al calore. Successivamente il foglio viene fatto scorrere dentro un fornetto a infrarossi, il cui calore provoca il rigonfiamento delle micro-capsule, ma solo nei punti su cui è stato depositato l'inchiostro nero<sup>20</sup>.

Attraverso l'uso di questa tecnica abbiamo reso in rilievo due immagini, che rappresentano quello che è possibile ottenere dall'osservazione del cielo con un radiotelescopio.

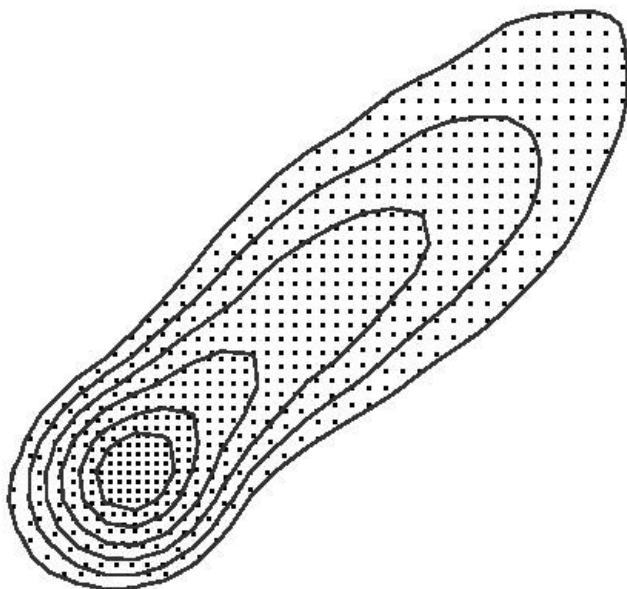
La prima (mappa 1, in Figura 29) è frutto di una visualizzazione che fa corrispondere il colore nero agli oggetti la cui intensità (in onde radio) supera una certa soglia (la soglia di sensibilità del radiotelescopio). La mappa rappresenta una regione di cielo osservata con un radiotelescopio, quindi può avere qualunque posizione sulla sfera celeste: è come proiettare su un foglio una qualsiasi inquadratura di un telescopio.



**Figura 29** Mappa 1: rappresentazione in bianco e nero delle onde radio emesse da una regione di cielo al cui centro è situata la sorgente denominata 0206+35.

<sup>20</sup> Fonte: <http://www.letturagevolata.it/letturagevolata/rappresentazioni-tattili/tecniche-disegno-a-rilievo/carta-a-microcapsule-e-fornetto>. Questa tecnica è comunemente detta *Minolta*, poiché questa ditta è stata la prima a commercializzare la carta speciale ed il fornetto a raggi infrarossi.

L'oggetto al centro, osservato nel dettaglio con un telescopio con maggiore potere risolutivo, si mostra più complesso: la seconda immagine (mappa 2, in Figura 30) è lo zoom di quell'oggetto, in cui i contorni rappresentano le zone a diversa intensità e i puntini (più fitti e meno fitti) il livello di intensità.



**Figura 30** Mappa 2: contorni della radiosorgente 0206+35. I puntini entro i diversi contorni si diradano dal centro verso l'esterno (come l'intensità dell'emissione di onde radio)<sup>21</sup>.

La scelta di rappresentare i diversi livelli di intensità con *texture* tattili con diversa densità spaziale nelle diverse regioni è stata discussa con la Dott.ssa Loretta Secchi, curatrice del Museo *Anteros* dell'Istituto Cavazza. Sono state valutate anche le opportunità di rappresentare le diverse intensità dell'onda radio con:

- diverse temperature (*tattile termico*, scartata per le motivazioni già discusse);
- diversi volumi (altezze dal piano del foglio); possibilità scartata, per non creare l'illusione della "materialità" dell'oggetto rappresentato, che invece è solo energia (le onde radio);
- diversi materiali (qualunque); possibilità scartata, data la totale arbitrarietà (e la conseguente difficoltà mnemonica) dell'associazione tra un materiale e la corrispondente intensità;
- diversi materiali a diversi gradi di ruvidità, anche questa possibilità scartata dato il numero limitato di livelli rappresentabili e la possibile difficoltà nell'interpretare i passaggi di intensità;

---

<sup>21</sup> In Appendice 2 sono riportate alcune varianti della mappa 2: con maggiore differenza tra i livelli di densità delle texture, con minore numero o totale assenza di contorni. La verifica ha portato a prediligere la mappa 2 qui riportata.

- diverse texture con diversa forma (triangoli, quadrati, ecc.) nelle aree caratterizzate da diversa intensità dell'onda radio; possibilità scartata, di nuovo per una questione di eccessiva arbitrarietà ma anche per motivi tecnici di difficoltà nel riconoscere le diverse forme su porzioni di foglio anche molto piccole.

#### *Risultati della verifica pre-sperimentale della rappresentazione tattile*

Le due mappe sono state testate per verificarne la fruibilità, la comprensibilità e per tarare i livelli di soglia relativi alla sensibilità tattile. L'esplorazione tattile è stata in una prima fase libera, in modo da poter verificare che l'input tattile fosse percettibile poi, una volta spiegato il contenuto della rappresentazione, l'esplorazione è stata maggiormente guidata e infine sono state poste delle domande sulla comprensibilità e sull'eventuale contenuto informativo delle rappresentazioni.

La verifica ha portato alle seguenti conclusioni:

- la presenza/assenza di un puntino in rilievo sulla mappa 1 è stata facilmente associata alla presenza/assenza di segnale.
- anche l'introduzione di un codice leggermente più complesso (diverse texture nella rappresentazione dell'intensità di una sorgente nella mappa 2) è risultata intelligibile.
- alcune parti della mappa 2 sono risultate più difficilmente comprensibili al tatto, quindi è stato necessario informare l'utente in modo più specifico di cosa doveva cercare nella sua esplorazione (contorni molto fitti nella regione centrale e diverse densità delle texture);
- sempre nella mappa 2, dopo la dichiarazione del codice, la presenza di contorni e le diverse densità delle texture sono state riconosciute abbastanza agevolmente;
- si è definito che in generale le mappe in cui sono rappresentati sia le texture che i contorni sono più facilmente intelligibili di quelle solo con le texture (indipendentemente dal numero di variazioni e dai livelli più o meno accentuati).

#### ***Rappresentazione solo uditiva***

La rappresentazione uditiva è stata realizzata attraverso un software, *audioscopio*<sup>22</sup> che fa corrispondere a un tasto della tastiera del computer un segnale sonoro posizionato in uno specifico punto di uno spazio tridimensionale, con i tre assi posizionati rispettivamente in orizzontale rispetto all'osservatore, in verticale rispetto all'osservatore e in profondità

---

<sup>22</sup> Il testo del programma è riportato in Appendice 3.

partendo dall'osservatore, con origine al centro tra le due orecchie dell'ascoltatore, poste alle coordinate (1;0;0) e (-1;0;0) rispettivamente. L'audio relativo alla sorgente selezionata viene riprodotto in stereo, con la corretta provenienza sinistra-destra.

L'onda sonora prodotta ha specifiche caratteristiche di ampiezza e frequenza (in questa prima fase abbiamo trascurato la forma dell'onda, che avrebbe determinato diversi timbri) e subisce l'attenuazione dovuta al percorso del suono. La pressione del tasto attiva/disattiva la sorgente sonora e ognuna può essere sentita in contemporanea alle altre.

Il programma attinge i dati da un file di testo in cui può essere inserito un numero di sorgenti a piacere, alle quali vanno attribuite le seguenti caratteristiche:

nome	posizione x	posizione y	posizione z	frequenza	ampiezza
------	-------------	-------------	-------------	-----------	----------

**Tabella 3** Parametri modificabili nel file delle sorgenti del programma *audioscopio*.

Alla partenza del programma, si fa seguire al comando di avvio anche la sequenza dei nomi delle sorgenti che si vuole siano “suonate”. A ogni nome corrisponde un numero: premendo quel numero sulla tastiera, la sorgente corrispondente viene accesa o spenta.

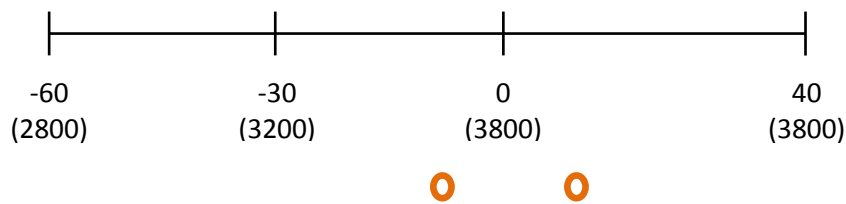
Nella fase sperimentale *solo acustica* le sorgenti presenti erano 4, con le seguenti caratteristiche:

nome	posizione x	posizione y	posizione z	frequenza	Ampiezza
pippo	-60	0	20	2800	100
pluto	-30	0	20	3200	100
flavio	0	0	20	3800	100
Ugo	40	0	20	3800	100

**Tabella 4** Valori dei parametri definiti nella fase di verifica della rappresentazione solo uditiva.

Come si vede dalla Tabella 4, si è scelto di mantenere costanti alcuni parametri per tutte e quattro le sorgenti. Come infatti già osservato, la rappresentazione solo uditiva era, nel contesto dell'intero progetto, quella con il maggior numero di incognite sperimentali, in termini di fruibilità spontanea e autonoma; per questo abbiamo scelto di cominciare con una rappresentazione molto semplice, cioè quattro sorgenti posizionate tutte lungo lo stesso asse

(Figura 31), tutte con la stessa intensità intrinseca (per cui le differenze di intensità sono dovute alle diverse distanze).



**Figura 31** Schema della disposizione spaziale delle sorgenti per la verifica della rappresentazione solo uditiva. I numeri riportati tra parentesi sono le frequenze (in unità arbitrarie) di emissione delle sorgenti. La posizione (virtuale) delle due orecchie è rappresentata (in scala) dai due cerchi rossi.

### *Risultati della verifica pre-sperimentale della rappresentazione uditiva*

La rappresentazione solo acustica è stata verificata inizialmente da nove studenti normovedenti, con l'obiettivo di: definire se fosse possibile assegnare degli attributi oggettivi agli input sonori, localizzarli spazialmente e comprendere e caratterizzare il diverso tipo di segnale, una volta scoperto il codice, in termini di intensità e frequenza.

Abbiamo chiesto agli studenti di riportare il tipo di informazioni che ritenevano di poter dedurre dalla rappresentazione. Inoltre, per un agevole controllo della loro localizzazione spaziale delle sorgenti, abbiamo loro chiesto di fare una rappresentazione grafica della provenienza degli input, che fosse facilmente confrontabile con Figura 31.

Anche in questo caso, come per la verifica della rappresentazione tattile, la modalità di esplorazione proposta è stata libera in una prima fase, poi, una volta esplicitato il codice rappresentativo, è stato chiesto agli studenti di riportare tutto il contenuto informativo delle rappresentazioni.

Abbiamo riscontrato una certa difficoltà iniziale (da parte di tutti i partecipanti) a familiarizzare con la "povertà" del tipo di input che, privato di ogni altro riferimento, è risultato difficile interpretare come rappresentazione figurativa di una situazione reale.

I risultati preliminari (senza codice) sono stati in alcuni casi sensibilmente differenti da quelli ottenuti dopo la dichiarazione della codifica delle informazioni.

In particolare, la *disposizione spaziale* è stata (come era lecito attendersi) interpretata come distribuita lungo i tre assi (le distanze lungo x sono state dunque interpretate come distanze lungo z, sempre davanti all'osservatore). In due casi, la provenienza del segnale è stata identificata come "davanti" e "dietro" l'osservatore: i segnali più lontani sono stati interpretati come provenienti da dietro l'osservatore e quelli più vicini da davanti. In altri due casi, la

ricostruzione della posizione nello spazio non è stata riportata (nonostante fosse stato esplicitato che si richiedeva di fornirla): uno di questi due studenti ha riportato che i suoni davano “sensazione di originarsi all’interno della testa”, tutti tranne il più lontano, percepito come più debole, quindi “esterno”. Il secondo dei due studenti che non ha fornito una ricostruzione spaziale ha riportato invece di aver avuto “quasi la sensazione che la sorgente fosse sempre la stessa ma in movimento, in avvicinamento o in allontanamento” (senza però nominare l’effetto Doppler).

In termini di ricostruzione spaziale, abbiamo infine verificato come in tutti i casi, anche prima della dichiarazione del codice gli utenti hanno interpretato, istintivamente, le *diverse intensità del segnale* come diverse distanze, dando per scontato che l’intensità intrinseca fosse la stessa per tutte e quattro le sorgenti.

In tre casi, la *differenza in frequenza* non è stata riconosciuta; in tutti gli altri è stata non solo riconosciuta, ma a volte anche apprezzata finemente (distribuendo i suoni in possibili scale cromatiche crescenti e distinguendo anche gli intervalli di altezza tra suono e suono in termini di toni e semitoni).

Dopo la dichiarazione del codice, tutti i nove studenti hanno ricostruito in modo corretto la provenienza dei suoni, eccetto in un caso, in cui si è rivelata una notevole soggettività nella risposta sulla provenienza del segnale, dovuta a una sostanziale differenza di sensibilità delle due orecchie.

Come atteso, la fase di verifica della rappresentazione uditiva ha rivelato un certo numero di criticità, utili per definire in modo più accurato e consapevole la rappresentazione tattile e acustica. In particolare, abbiamo rilevato quanto riportato qui di seguito.

- La rappresentazione di sorgenti (di energia non visibile) come sorgenti acustiche è stata sempre ben compresa e accettata come arbitraria, anche se in alcuni casi le caratteristiche del suono sono state associate al reale (vedi oltre); bisogna dunque prestare attenzione nel fornire la minor figuratività possibile dal punto di vista acustico.
- La diversa intensità dei segnali è stata sempre interpretata come diversa distanza dall’osservatore. In questo caso, l’interpretazione è corretta, ma potrebbe portare a confusione nel caso si scelga di rappresentare sorgenti con intensità intrinseca diversa (cosa permessa dal software utilizzato). Nel caso si scegliesse questa possibilità, bisogna trovare il modo di segnalarlo chiaramente attraverso uno stimolo sensoriale alternativo.

- Difficoltà di individuare la provenienza lungo i tre assi: senza altri riferimenti, è difficile capire, dal solo segnale stereo, lungo quali direzioni è più vicina o più lontana la sorgente. Questo era anche uno dei motivi che aveva portato, in fase di progettazione, alla scelta di usare, almeno in prima battuta, una disposizione lineare delle sorgenti e non su di un piano.
- Confusione (e possibili interpretazioni fuorvianti) in merito all'effetto Doppler, interpretato in un caso come analogia tra frequenza e distanza e in un caso riconosciuto dal punto di vista fenomenologico, pur senza essere nominato. Abbiamo riconosciuto questo come un limite legato alla non-aleatorietà del campione, che è selettivo in termini di prerequisiti disciplinari di Fisica. Si tratta comunque di una pericolosa analogia, da tenere sotto controllo (che però può anche essere sfruttata come “ancora cognitiva”, se debitamente introdotta come arbitraria in una rappresentazione che chiaramente mostra tutti oggetti fermi).
- La vicinanza delle orecchie alla retta da cui provengono tutti i suoni, che abbiamo ritenuto necessaria per far apprezzare le diverse posizioni, può portare (e ha portato in un caso della nostra verifica) a interpretare la provenienza dei suoni come da “dentro la testa”.

### **Risultati della fase pre-sperimentale**

I risultati delle verifiche delle rappresentazioni “mono-sensoriali” (tattile e uditiva) sono stati determinanti nella scelta di procedere direttamente con la sperimentazione di una rappresentazione che combinasse il senso del tatto e dell'udito in un'unica mappa, in modo da sopperire alle criticità evidenziate dalle prime prove.

In particolare, entrambe le verifiche hanno evidenziato una relativa facilità a interpretare la presenza di uno stimolo alla presenza di un segnale di qualche tipo. Pur nella sua semplicità, questo risultato è molto rilevante nel contesto in cui ci stiamo muovendo, cioè di rendere accessibile a un senso che non sia la vista la presenza di un dato rappresentato in una forma più o meno arbitraria.

Il grado di informazione contenuto nella rappresentazione tattile è facilmente accessibile se relativo alla presenza o variazione di un solo parametro. L'inserimento di più parametri (ad esempio la distanza di un oggetto oltre all'intensità di emissione di onde radio) richiederebbe l'inserimento di ulteriori parametri tattili (diversi materiali e/o diversi volumi), esclusi sin dalle fasi di definizione di questo studio (il primo per l'eccessiva arbitrarietà ed entrambi per la difficoltà di percezione). La combinazione delle caratteristiche di un “oggetto tattile” con un corrispondente “oggetto sonoro” può aggiungere dettaglio, senza aggiungere complessità.

Per quanto riguarda la verifica sulla rappresentazione uditiva, abbiamo dedotto che la distribuzione spaziale non è facilmente riconoscibile dal solo suono e che parametri come la frequenza e l'intensità del suono sono abbastanza legati all'esperienza cognitiva da creare il rischio di fraintendimenti interpretativi (si vedano le discussioni su intensità del segnale ed effetto Doppler per la frequenza). Abbiamo quindi ritenuto che la combinazione della prima mappa tattile (o analogo rappresentazione di una mappa di cielo in onde radio, con diversi oggetti rappresentati) con una mappa che fa corrispondere a ogni oggetto un suono, avrebbe permesso di aumentare il contenuto informativo della rappresentazione riducendo, allo stesso tempo, il rischio di malintesi.

### ***Rappresentazione tattile e uditiva***

Per far corrispondere un suono a un oggetto tattile abbiamo utilizzato il dispositivo *Makey Makey*<sup>23</sup>, un prodotto ideato da studenti dell'MIT (*Massachusetts Institute of Technologies*) e nato grazie al finanziamento di *Kickstarter*, una delle maggiori e più vecchie piattaforme di finanziamento collettivo (*crowdfunding*). Il termine "Makey" viene da 'make' + 'key', cioè, letteralmente "rendere un tasto" spiega semplicemente la funzione di questo dispositivo e cioè convertire praticamente tutto in dispositivi di input per il computer.

Il dispositivo *Makey Makey* è una piccola scheda elettronica (Arduino semplificato<sup>24</sup>) che può essere collegata al computer tramite cavo USB. In dotazione sono fornite alcune pinze "a coccodrillo" che servono a collegare l'oggetto che dovrà fungere da tasto con la tavoletta (Figura 32).



**Figura 32** Dispositivo *Makey Makey* con cavo USB e pinze "a coccodrillo".

I "buchi" sulla scheda corrispondono a diversi possibili comandi da tastiera (spazio, frecce nelle quattro direzioni e i tasti W, A, S, D, F e G) e da mouse (tasto sinistro e destro). Se si

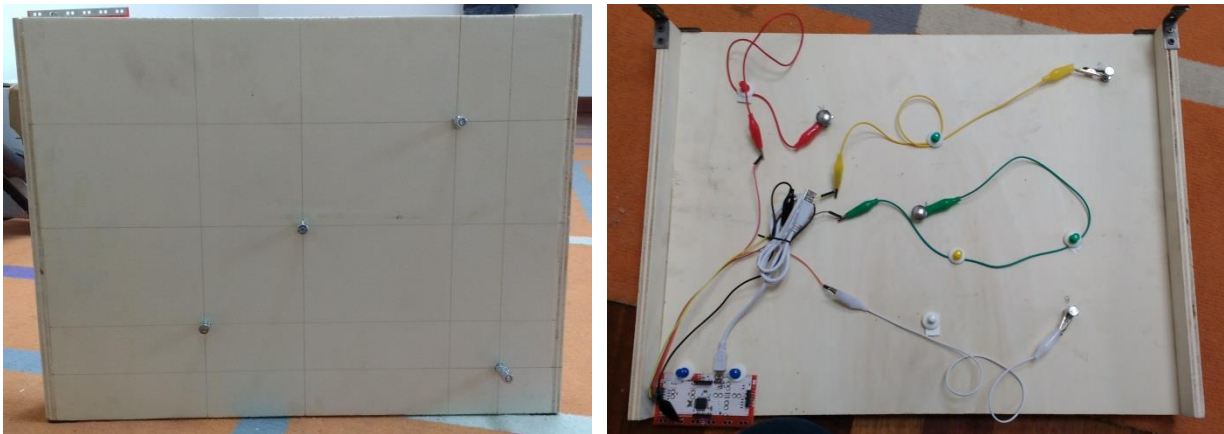
<sup>23</sup> <https://www.kickstarter.com/projects/joylabz/makey-makey-an-invention-kit-for-everyone>

<sup>24</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_\(hardware\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Arduino_(hardware))



collegano le pinze da una parte al dispositivo Makey Makey e dall'altra all'oggetto che si vuole usare come tasto, l'oggetto collegato è riconosciuto dal computer come il tasto corrispondente. Nella parte bassa della scheda ci sono invece i collegamenti "a terra", necessari per chiudere il circuito e far funzionare il dispositivo: il modo più semplice per farlo è collegare una delle pinze a coccodrillo in uno dei buchi per la messa a terra e tenere l'altra estremità in mano.

La rappresentazione tattile e uditiva consiste in una tavoletta di compensato in cui sono stati inseriti viti e bulloni, ognuno dei quali è stato collegato al dispositivo Makey Makey (Figura 33).



**Figura 33** Fronte e retro della tavoletta usata come rappresentazione tattile e sonora della sperimentazione.

I numeri 0, 1, 2 e 3 che nella rappresentazione solo uditiva corrispondevano alle quattro sorgenti rappresentate sono stati "accoppiati" tramite il software utilizzato (*audioscopio*) alle lettere *w*, *a*, *s* e *d* riconosciute dal dispositivo; toccando uno degli oggetti tattili sulla tavoletta si attiva/disattiva l'oggetto sonoro corrispondente. La posizione degli oggetti sulla tavoletta è stata fatta corrispondere alla posizione dei suoni prodotti dal software audio. In questo modo, la provenienza spaziale del suono è codificata attraverso due stimoli sensoriali diversi (e non contraddittori): la posizione stereo in cuffia e quella sulla tavoletta. Unendo i due input, abbiamo potuto implementare la rappresentazione acustica con suoni in diverse posizioni, anche verticali (lungo l'asse *y*).

Gli oggetti tattili sono stati rappresentati dapprima con viti metalliche<sup>25</sup> di diverse forme e dimensioni, per sottolineare la diversità del tipo di oggetto, senza però associare alcuna

---

<sup>25</sup> Il dispositivo *Makey Makey* prevede l'utilizzo di qualsiasi materiale come chiave, basta che sia, anche poco, conduttore elettrico. Abbiamo riscontrato uno scarso funzionamento con oggetti non metallici, per questo in questa prima fase abbiamo scelto di utilizzare viti e bulloni.

caratteristica a queste differenze: questa è stata la versione utilizzata per la verifica con i non vedenti e per la sperimentazione con i vedenti. Per la sperimentazione con non vedenti invece, gli oggetti sulla tavoletta sono stati rappresentati da viti con bulloni in diverso numero, e a questa differenza è stata stavolta associato un codice di lettura: il numero di bulloni corrisponde all'intensità *intrinseca* del segnale radio. In questo modo, abbiamo potuto usare gli stessi volumi per tutti i suoni, aspetto che si era dimostrato delicato nella fase di verifica della rappresentazione uditiva.

Infine, la frequenza del suono è stata fatta corrispondere alla distanza dell'oggetto celeste dall'osservatore.

Secondo il codice interpretativo scelto, quindi:

- Altezze “fisiche” (quindi tattili) diverse corrispondono a diverse intensità (in modo direttamente proporzionale);
- Frequenze diverse (quindi diverse altezze del suono) corrispondono a distanze diverse, secondo la relazione “suoni più acuti → oggetti più vicini”;
- La posizione sulla tavoletta corrisponde alla posizione dell'oggetto nell'area di cielo rappresentata<sup>26</sup>.

Anche la rappresentazione tattile e uditiva è stata sottoposta a verifica pre-sperimentale da parte di due non vedenti.

La verifica è stata effettuata attraverso l'esplorazione libera, prima collettiva, poi individuale (con cuffie in stereo). Il codice rappresentativo è stato dichiarato da subito e il feedback è stato parzialmente guidato.

I risultati evidenziati sono stati:

- una buona comprensibilità della rappresentazione;
- una relativa naturalezza e semplicità nell'interpretazione dei dati rappresentati, una volta definito il contesto;
- la presenza di un buon margine per l'introduzione di ulteriori parametri tattili e sonori (la diversa forma delle viti ha creato l'aspettativa di un significato associato);
- una certa difficoltà, anche se minima, nell'esplorazione della mappa con il vincolo fisico di avere almeno un dito collegato al cavo di “messa a terra” del dispositivo Makey Makey;
- la criticità legata al fatto che, in questa prima versione della rappresentazione, i suoni attivati attraverso il tocco rimanevano attivi fin quando non si esercitava una pressione

---

<sup>26</sup> L'area di cielo, come nella rappresentazione tattile, è una qualsiasi porzione della sfera celeste, che dipende da dove è stato puntato il radiotelescopio per osservare quegli oggetti.

successiva: poiché l'esplorazione avveniva spesso anche con due mani, questo generava confusione sull'univocità della corrispondenza oggetto → suono.

Di quest'ultimo aspetto si è tenuto conto nella fase di sperimentazione, realizzando una versione della rappresentazione in cui il suono rimane attivo solo finché si esercita pressione sul relativo oggetto.

## **2.6 Obiettivi e raccolta feedback**

Gli obiettivi della sperimentazione sono stati così definiti:

- testare la comprensibilità degli stimoli tattili (forme e posizioni) e di quelli uditivi (caratteristiche del suono);
- testare il grado di “spontaneità” nel riconoscimento di un codice espositivo, nell'identificazione dei parametri rappresentativi (nel caso solo tattile prima e tattile+uditivo poi) e nell'interpretazione del loro possibile significato;
- testare il tipo di informazione che si riesce a dedurre senza dichiarazione del codice;
- testare la comprensibilità dei diversi input sensoriali e dei loro significati, una volta esplicitato il codice.

Si è scelto quindi di svolgere le prove, sia con i vedenti sia con i non vedenti in due fasi, la prima precedente e la seconda successiva alla dichiarazione del codice.

Nel caso dei non vedenti, sono stati definiti alcuni obiettivi specifici:

- a) capire se c'è una diversa fruizione di queste rappresentazioni, magari legata a una maggiore competenza e/o allenamento all'uso di altri sensi da parte di persone non vedenti;
- b) analizzare il feedback di persone che non hanno alcun tipo di memoria visiva su cui basare le informazioni che traggono dalla rappresentazione e cioè, nel nostro caso, che non hanno pregiudizi dovuti alla conoscenza della rappresentazione visuale di una realtà che di per sé non è visibile.

Per quanto riguarda le modalità della raccolta di feedback per entrambe le sessioni sperimentali (con vedenti e non vedenti), sono state presentate alcune semplici informazioni e poste, in corrispondenza, alcune semplici domande, riportate nelle due tabelle seguenti, relative alla fase precedente alla dichiarazione del codice (I fase) e a quella successiva (II fase).

*I FASE (precedente alla dichiarazione del codice)*

<p><b>INTRODUZIONE</b></p> <p>L'oggetto di questa sperimentazione è la rappresentazione di una mappa celeste in cui sono raffigurati quattro oggetti.</p>
<p><b>RAPPRESENTAZIONE SOLO TATTILE</b></p> <p>Quali informazioni puoi ricavare sulle sorgenti presenti in questa parte di cielo?</p>
<p><b>RAPPRESENTAZIONE TATTILE+UDIVITA</b></p> <p>Quali informazioni puoi ricavare sulle sorgenti presenti in questa parte di cielo?</p> <p>Quali sono le informazioni in più rispetto alla rappresentazione solo tattile?</p>
<p><b>EVENTUALI NOTE</b></p>

*II FASE (successiva alla dichiarazione del codice)*

<p><b>INTRODUZIONE</b></p> <p>Gli oggetti rappresentati sulla mappa hanno forme diverse in base al tipo di oggetti rappresentato.</p> <p>I suoni che si sentono toccando i diversi oggetti hanno diversa provenienza (apprezzabile attraverso i canali stereo), intensità (che corrisponde all'intensità assoluta di emissione da parte della sorgente celeste) e frequenza (che rappresenta la distanza).</p>
<p><b>RAPPRESENTAZIONE TATTILE+UDITIVA</b></p> <p>Quali informazioni puoi ricavare sulle sorgenti presenti in questa parte di cielo?</p> <p>Ci sono delle informazioni in contraddizione con quelle ricavate nelle fasi precedenti?</p>
<p><b>EVENTUALI NOTE</b></p>

### **3. Risultati della sperimentazione**

*Premessa*

La sperimentazione è stata svolta da un gruppo di vedenti (4) e da uno di non vedenti (12).

La codifica proposta è stata riconosciuta e applicata abbastanza facilmente. Sin dall'inizio sono state però sottolineate delle problematiche e/o proposti dei margini di miglioramento. Già nell'intervallo tra le due sessioni sperimentali (con vedenti e non vedenti), la rappresentazione ha subito due modifiche: una nella forma degli oggetti della mappa tattile e l'altra nella posizione della mappa.

La motivazione della prima variazione risiede nel fatto che il gruppo di non vedenti ha evidenziato l'aspettativa di un collegamento tra la forma degli oggetti tattili e qualche parametro fisico corrispondente. Per questo, in fase di sperimentazione con i non vedenti, questa corrispondenza è stata inserita nel codice rappresentativo (numero di bulloni → intensità assoluta delle sorgenti).

La seconda differenza è stata che durante la sperimentazione con il gruppo di vedenti la tavoletta è stata presentata all'esplorazione in posizione orizzontale (come un foglio su un tavolo) mentre i non vedenti hanno esaminato la tavoletta posta in verticale. Il motivo di questo cambiamento è stata un'altra criticità sottolineata dai vedenti durante le loro prove e cioè che la distanza (che nella rappresentazione era stata solo associata alla frequenza del segnale) veniva confusa con la distanza "tattile" dall'osservatore (che ci si aspettava che fosse maggiore nei punti della tavoletta più lontani, quelli cioè per cui era richiesta una maggiore estensione del braccio).

Questo fraintendimento è stato da tutti sottolineato con decisione. Per questo, aspettandoci che per i non vedenti il problema (essendo legato all'esplorazione tattile) fosse anche più evidente, abbiamo cercato una soluzione e l'abbiamo individuata nel posizionamento verticale della mappa.

I feedback ricevuti nella sperimentazione con i non vedenti non hanno invece evidenziato possibili interpretazioni della distanza "fisica" al tatto come distanza delle sorgenti da Terra e hanno comunque rilevato come il problema, per come si era presentato ai vedenti, avrebbe potuto essere riscontrato anche con la diversa posizione della tavoletta, perché gli oggetti più "in alto" erano assolutamente confrontabili con quelli "più lontani in orizzontale" in termini di movimento della mano che esplora la mappa.

#### *La scelta degli elementi "importanti"*

Osserviamo come tutti, chi più chi meno, hanno manifestato un certo disagio nel dover capire da soli cosa evidenziare di quello che stavano esplorando e dover trovare qualcosa ("non so cosa devo cercare").

Questo è accaduto anche nel caso dei non vedenti che, sin dalle prime fasi di esplorazione, hanno cercato di dedurre qualcosa dalla rappresentazione, anche informazioni non necessariamente scientifiche (nonostante conoscessero la natura del progetto).

Anche quest'aspetto è stato significativo nella fase di discussione finale, perché racchiude in sé la modalità di procedere della ricerca di base, per la quale, in principio, tutto è rilevante allo stesso modo e la selezione dei contenuti essenziali, da mantenere e studiare, è una "scommessa": si sceglie di puntare su un aspetto che si intuisce essere più interessante di altri, ma è sempre un po' come fare un "salto nel buio".

### *L'analogia con l'esperienza*

Anche nei casi in cui non si sono evidenziate influenze fuorvianti legate all'esperienza visuale (e forse anche proprio in virtù di questo) tutti, sia gli utenti vedenti sia i non vedenti, hanno cercato delle analogie con la propria esperienza sensoriale (tattile o uditiva). Concludiamo quindi che, anche per rappresentazioni sensoriali diverse da quelle visuali, bisogna prestare particolare attenzione agli effetti percettivi "simili" all'oggetto rappresentato, cercando di farli emergere e di identificare le concezioni fuorvianti che ne possono derivare (esempio, l'oggetto vicino "fisicamente" nella rappresentazione tattile che non è detto che lo sia in realtà oppure l'analogia con l'effetto Doppler o ancora tra volume più basso e distanza maggiore)<sup>27</sup>.

Tra gli obiettivi della sperimentazione con i non vedenti, come già sottolineato, c'era in particolare la valutazione di come la minorazione visiva potesse significare una maggiore competenza cognitiva legata alla stessa esplorazione sensoriale.

Abbiamo riscontrato in tutti gli utenti non vedenti una maggiore prontezza a esplorare la mappa tattile (prima ancora di poter fruire della rappresentazione anche uditiva) cercando di assegnare delle caratteristiche agli oggetti toccati (corrette in termini di posizione e rilievo dalla tavoletta in tutti e dodici i casi) e di trovare possibili significati legati alla propria esperienza tattile in ciò che stavano toccando.

In merito al secondo obiettivo specifico, quello cioè di valutare l'influenza della memoria e dell'esperienza sensoriale pregressa sulla fruizione della rappresentazione, nessuno del gruppo di non vedenti ha manifestato difficoltà ad accettare che si trattasse della rappresentazione di oggetti non visibili agli esseri umani; alcuni di loro hanno espressamente

---

<sup>27</sup> In questo senso si tratta di segni che "stimolano una struttura percettiva 'simile' a quella che sarebbe stimolata dall'oggetto imitato." (Umberto Eco, *Trattato di semiotica generale*, 1975)

chiesto se la rappresentazione mostrata loro fosse analoga alle mappe realizzate dai vedenti per comprendere i contenuti di queste attività di ricerca, mostrando di non avere pregiudizi normalmente dettati dalla conoscenza delle rappresentazioni visuali degli stessi contenuti.

In fase di discussione, è stato dichiarato a tutti che nessuno è in grado di vedere quello che è stato rappresentato in forma tattile e acustica e che quindi questa rappresentazione non è più fittizia di quanto lo sia una visuale.

### *Il coinvolgimento emotivo*

Infine, sottolineiamo che non c'è quasi mai stato coinvolgimento emotivo in fase di esplorazione. Questo, a nostro avviso, ha reso più facile riconoscere e “accettare” l'astrazione della codifica presentata e interpretare correttamente (in tutti i casi nella sperimentazione con i non vedenti) i dati riportati, pur evidenziando, in alcuni casi un po' di delusione da parte degli utenti (soprattutto nei non vedenti che erano stati preparati, non per nostra scelta, a una sperimentazione in ambito “astronomico”).

In fase di discussione finale, l'aspetto emotivo è stato in parte ripristinato dal racconto delle modalità di emissione di energia da parte degli oggetti rappresentati e anche, come già evidenziato, dall'esplicitazione della non visibilità, per motivi fisici e quindi comuni a tutti, degli oggetti e fenomeni rappresentati, che potevano quindi essere rasi attraverso qualsiasi senso, non necessariamente la vista.

Uno degli utenti non vedenti ha affermato, emozionato: “ah, allora siamo pari!”.

## **Conclusioni**

La sperimentazione condotta ha evidenziato risultati molto convincenti, soprattutto in termini di “capacità di contenuto informativo”, cioè possibilità di rappresentare, usando un codice arbitrario e multisensoriale, un maggior numero di informazioni sui dati rappresentati.

In particolare, la scelta di creare una rappresentazione sinestetica tattile e uditiva si è dimostrata valida, in termini di rafforzamento del contenuto informativo attraverso due canali sensoriali e di maggiore possibilità di rappresentazione non ambigua dei contenuti scientifici.

Abbiamo riscontrato una certa facilità di accettazione del codice proposto, anche se è stata sottolineata la necessità di studiare e verificare preliminarmente l'assenza di figuratività, in modo da evitare di incorrere in inattese analogie e interpretazioni fuorvianti.

L'assenza di coinvolgimento emotivo è stata considerata un limite comunicativo della rappresentazione sperimentata, anche interpretabile come una risorsa perché indice di

massima astrazione dalla realtà, elemento considerato fondamentale in termini di chiarezza e riconoscibilità del codice che, secondo la nostra ipotesi di partenza, avrebbe portato ad una maggiore comprensibilità del contenuto informativo.



## CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Siamo partiti dal presupposto che le immagini frutto di visualizzazione di dati in ambito scientifico, siano, come qualsiasi testo, analizzabili in termini *metalinguistici*, cioè non solo in merito al loro contenuto, ma anche in riferimento al *codice*, inteso come insieme di regole per la rappresentazione e l'interpretazione, utilizzato per costruirle.

La scienza moderna fa un uso intensivo di rappresentazioni prettamente figurative, anche in casi (molto frequenti) in cui i dati e i fenomeni rappresentati siano *non visibili* in termini fisici, cioè non indagabili con gli occhi né con analoghi sistemi ottici che facciano uso degli stessi principi fisici per osservazione e rivelazione. Strumenti di osservazione come i dispositivi per la rivelazione di onde elettromagnetiche diverse dalla luce (termocamere a infrarossi, radiotelescopi, ecc.) o microscopi non ottici (a scansione elettronica, a scansione di forza, ecc.) hanno funzionamenti radicalmente diversi rispetto a telescopi ottici e microscopi. L'osservazione tramite questi strumenti restituisce segnali generati da alcune caratteristiche fisiche dell'oggetto e quindi correlati con quelle caratteristiche. Nel processo di visualizzazione, questi segnali vengono spesso fatti corrispondere a luci, ombre, colori e forme familiari all'osservatore e quindi, si ritiene, più facilmente interpretabili. Secondo la nostra ipotesi, questa traduzione rischia di "imporre" alla rappresentazione una serie di limiti visuali, come ad esempio i falsi colori che hanno intervalli di variazione abbastanza circoscritti (soprattutto se si vuole creare un'immagine dall'apparenza realistica) oppure la rappresentazione in 2D di fenomeni o "ambienti fisici" in cui la profondità è nota, ma non può essere resa in un'immagine (portando quindi a trascurare una parte del contenuto scientifico della rappresentazione).

Come abbiamo visto nel capitolo 1, l'uso di immagini molto figurative (e quindi anche spesso anche esteticamente piacevoli) trova ampio spazio nella comunicazione verso un pubblico non esperto. Abbiamo osservato come questo possa produrre un doppio rischio perché, da una parte, comporta possibili fraintendimenti interpretativi da parte di chi non ha dimestichezza con i processi di visualizzazione normalmente utilizzati in ambito scientifico, dall'altra, le rappresentazioni visuali così costruite mancano spesso di accompagnamento didascalico, perché utilizzate in un ambito comunicativo molto informale, per sua natura difficilmente soggetto a controllo dei contenuti e delle fonti originali.

Nel capitolo 2 abbiamo analizzato possibili alternative alla visualizzazione, ottenendo una panoramica di rappresentazioni tattili e uditive usate principalmente per le loro caratteristiche

funzionali, cioè di resa sensoriale alternativa alla vista per soggetti con minorazioni visive, ma anche comunicative, in alcuni ambiti scientifici di indagine del “non visibile” (come il caso delle sonificazioni della rivelazione di particelle subatomiche o delle onde gravitazionali).

Pur ammettendo la difficoltà di proporre uno schema comunicativo diverso in questi ambiti, che necessariamente ricorrono (per le caratteristiche stesse della pubblicizzazione) alle funzioni comunicative più *emotive* e meno *referenziali* (nel senso della teoria della comunicazione di Jakobson), abbiamo comunque provato a studiare un metodo alternativo di rappresentazione di oggetti e fenomeni fisici non visibili che ci consentisse di:

- rappresentare il maggior contenuto informativo possibile, liberato dai limiti percettivi della visione;
- mantenere il livello di astrazione e arbitrarietà adeguato a far riconoscere la funzione *simbolica* della rappresentazione;
- essere percettibile anche a soggetti non vedenti, visto che l’oggetto della rappresentazione è, di per sé, ugualmente impercettibile con la vista, per qualsiasi utente.

Una simile rappresentazione ha il pregio di essere, per i motivi descritti, più facilmente accessibile, comprensibile e quindi valida in termini didattici, anche se non altrettanto coinvolgente, dal punto di vista emotivo, rispetto a una rappresentazione visuale.

Come descritto nel capitolo 3, la progettazione di rappresentazioni alternative ci ha condotti a costruire per *step* successivi, attraverso diverse fasi di verifica e test effettivi (sia con un campione di vedenti che di non vedenti), una mappa sensoriale sia tattile che sonora, in cui le due diverse percezioni ricevono stimoli concordi che rafforzano la comprensione della caratteristica rappresentata. La mappa utilizzata rappresenta le onde radio ricevute in una regione di cielo (osservata attraverso un radio telescopio). Le caratteristiche fisiche incluse nella rappresentazione sono la posizione, l’intensità assoluta della sorgente e la sua distanza: la scelta dei parametri è stata fatta in base a iterazioni di verifica con vedenti e non vedenti, che hanno permesso di individuare (e cercare di risolvere) le problematiche e le criticità legate alla fruizione *naturale* della rappresentazione (ad esempio l’interpretazione spontanea della distanza come distanza dal corpo esplorante e l’attesa di percepire sorgenti intrinsecamente più deboli come suoni meno intensi): il nostro intento era infatti ottenere una rappresentazione completamente priva di collegamenti con l’esperienza reale, ritenuti pericolosamente fuorvianti in termini di interpretazione della rappresentazione.

Il risultato della sperimentazione ci ha portati ad alcune valutazioni fondamentali.

- È necessario uno studio accurato, anche nel caso di rappresentazioni non visuali, per non incorrere nella *figuratività*, cioè riconoscibilità in termini di esperienza vissuta e memoria delle percezioni sensoriali usate, cosa che porterebbe nuovamente, come nel caso visuale, a un'errata interpretazione della rappresentazione.
- L'aspetto emotivo di rappresentazioni dichiaratamente *arbitrarie* è stato, nella nostra indagine, molto contenuto: questo è stato ritenuto positivo, perché ha garantito un certo distacco e scetticismo nei confronti della mappa sensoriale, che ha portato alla corretta interpretazione e “accettazione” del codice rappresentativo (la *legenda* della mappa sensoriale). Di questo però si deve tener conto come possibile limite per l'utilizzo di queste rappresentazioni in ambiti comunicativi mediatici, in cui i tempi e le modalità di fruizione sono molto contingentati.
- L'indagine preliminare “alla cieca”, cioè senza conoscere il *codice* della rappresentazione e la corrispondenza significante/significato ha in molti casi messo a disagio i fruitori della rappresentazione, permettendoci di far emergere alcune interpretazioni spontanee e di sollecitare il paragone con la ricerca scientifica di base (che tipicamente studia gli oggetti delle rappresentazioni mostrate), in cui la scelta delle caratteristiche “rilevanti” in uno studio deve essere esercitata in modo arbitrario e per tentativi successivi, in modo da definire in modo efficace cosa è “trascurabile” nel quadro delineato dagli studi e dalle osservazioni e cosa invece deve essere isolato e studiato in maggior dettaglio.

## SVILUPPI FUTURI

Dal punto di vista tecnico, una possibile applicazione futura facilmente e velocemente esplorabile è l'uso di dispositivi più performanti per la traduzione sonora dei segnali. Un esempio è il dispositivo *Click4all*<sup>1</sup>, attualmente in fase di realizzazione, che presenta una serie di vantaggi in confronto al dispositivo da noi utilizzato (*Makey Makey*). Uno di questi è l'assenza di “messa a terra” e quindi di vincolo fisico durante l'esplorazione tattile.

Dal punto di vista teorico e applicativo, lo studio e la sperimentazione condotta in questa tesi offrono spunti utilizzabili in diversi ambiti di ricerca.

Per quanto riguarda la **didattica**, riteniamo che l'utilizzo di rappresentazioni arbitrarie come quelle sperimentate in questo lavoro, siano utili a mostrare chiaramente agli studenti la

---

<sup>1</sup> <http://www.asphi.it/progetti/clip4all-ausili-informatici-su-misura/>

funzione di *modellizzazione* operata dalla scienza nei confronti del mondo reale, per cui “ogni teoria scientifica stabilisce le regole del gioco. (...) L’obiettivo primario dell’istruzione scientifica dovrebbe essere quindi quello di insegnare il gioco della modellizzazione<sup>2</sup>”.

In ambito scolastico si può notare la tendenza sempre più diffusa ad un utilizzo di strumenti di misura complessi per la didattica, il cui funzionamento non è presentato in dettaglio, prediligendo l’analisi e lo studio del risultato della misura; come se il numero in uscita dalla “scatola nera” dello strumento fosse esso stesso una misura diretta della caratteristica fisica (o chimica) in esame, senza chiarificazione dei passaggi di trasduzione che hanno permesso di rivelarla. Riteniamo che i concetti che sono alla base della realizzazione delle rappresentazioni sensoriali di questo lavoro di tesi possano essere utilizzati per la costruzione di percorsi cognitivi che portino dall’uso di uno strumento osservativo allo studio del fenomeno osservato, non solo attraverso la descrizione e il (cieco) uso del dato in uscita, ma anche attraverso l’interpretazione del contenuto scientifico incluso nel processo fisico che ha portato a misurare quel dato<sup>3</sup>.

Dal punto di vista della comunicazione con il pubblico, riteniamo naturale l’esportazione di rappresentazioni come quella realizzata per questo lavoro di tesi anche in **contesti museali** tipo *science centre*, in cui l’indagine dei contenuti scientifici esposti prevede l’interazione diretta (*hands-on*) dei visitatori con l’esposizione. Questi contesti presentano il vantaggio, rispetto alla comunicazione della scienza attraverso i media, di prevedere un tempo di fruizione “personale” e non necessariamente fisso, permettendo quindi un’esplorazione anche dettagliata e in più fasi, passando dalla libera interpretazione a una fruizione più guidata, in un gioco di alternanza tra scoperta e rivelazione del codice interpretativo tipico della didattica informale.

Un simile approccio alla conoscenza scientifica ha il pregio di essere, almeno potenzialmente, universale, nel senso che gli stimoli sensoriali possono essere giocati in modo da costruire rappresentazioni ridondanti dello stesso parametro ed essere quindi accessibili anche a soggetti con minorazioni di vario genere. L’accessibilità da parte di non vedenti (o ipovedenti) è stata dimostrata nella fase sperimentale di questa tesi. Altre minorazioni sensoriali possono essere prese in considerazione, come quella uditiva, ad esempio (che in questo caso trarrebbe vantaggio da una rappresentazione che fa uso di stimoli visuali).

---

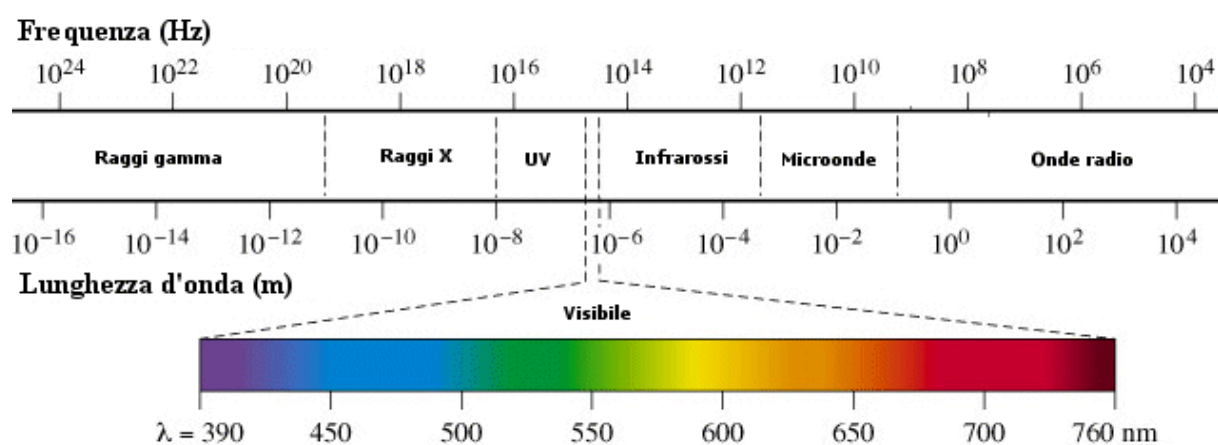
<sup>2</sup> D. Hestenes “Modeling games in the Newtonian World”, Am. J. Phys. Vol.60, p.732-748, 1992

<sup>3</sup> Cfr. V. Di Pietro, tesi di Laurea Specialistica in Fisica, Didattica e Storia della Fisica, *Un esempio di ricostruzione disciplinare in prospettiva didattica: l’interpretazione delle immagini in Fisica Moderna*, Università di Bologna, a.a. 2006-2007.

Riteniamo che questo progetto, ampliato e rifinito, possa costituire il punto di partenza di una ricerca sulla interazione tra **diverse abilità sensoriali**, allo scopo di formulare proposte in ambito di formazione scolastica, sin dalle scuole dell'infanzia, per un'integrazione che parta dalla scoperta di come ognuno esplora e conosce il mondo, sfruttando le sue capacità.

## APPENDICE 1: Le onde radio

Le onde radio sono, come la luce, *onde elettromagnetiche*, cioè “propagazione, in un mezzo qualunque o nel vuoto, di un campo elettrico e di un campo magnetico, entrambi variabili<sup>1</sup>”. Le onde elettromagnetiche possono avere diversa frequenza  $\nu$ , lunghezza d’onda  $\lambda$  ed energia  $E$  (i tre parametri sono interdipendenti per la legge di Planck  $E=h\nu$  e per la relazione  $\lambda=c/\nu$  – dove  $c$  è la *velocità della luce*); diversi intervalli di questi valori sono classificati secondo nomenclature (Figura 34) che sono state man mano attribuite in funzione dell’uso che gli esseri umani ne fanno e dei differenti strumenti necessari per rivelarne la presenza.



**Figura 34** Spettro elettromagnetico in cui è riportata in scala reale la porzione di luce visibile, poi zoomata per rivelare l'ulteriore suddivisione della luce visibile in frequenze (e quindi colori).

Le onde radio, in particolare, sono rivelate attraverso l’uso di radiotelescopi (Figura 35), costituiti da strumentazione in grado di interagire con quelle determinate frequenze di oscillazione dei campi elettrico e magnetico e di “segnalare” la presenza di quel tipo di onda.

<sup>1</sup> <http://www.treccani.it/vocabolario/onda/>



**Figura 35** Antenna parabolica da 32 metri di diametro, del radiotelescopio dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, situato a Medicina (BO)<sup>2</sup>.

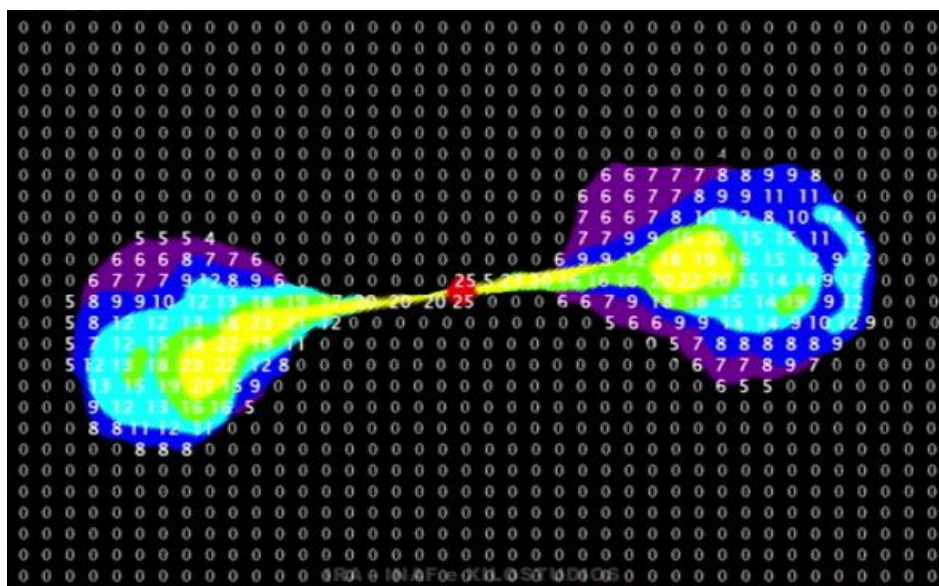
L'informazione in uscita da un radiotelescopio è un segnale elettrico, che poi viene trasformato, a seconda degli scopi della ricerca, in qualcosa di interpretabile e analizzabile da un essere umano. Tipicamente, il segnale elettrico è convertito in una serie di numeri corrispondenti alle regioni spaziali da cui le onde radio sono state ricevute (Figura 36).



**Figura 36** Intensità delle onde radio celesti convertite in numeri attraverso un software specifico per l'analisi dati. I numeri diversi da zero sono stati resi più luminosi per evidenziare la struttura dell'emissione radio<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Cortesia E. Carretti.

A quei numeri si fa tipicamente corrispondere una mappa di contorni o in falsi colori (Figura 37), che permette di visualizzare su una mappa bidimensionale la struttura morfologica della sorgente e la provenienza delle onde radio ricevute.



**Figura 37** Rappresentazione in falsi colori corrispondente all'informazione numerica riportata nella figura precedente<sup>4</sup>.

Le onde radio sono il “mezzo di comunicazione” più usato nella nostra epoca. Contengono informazioni di ogni tipo che viaggiano in forma di segnali dalle antenne trasmettenti a quelle riceventi, per arrivare ad apparecchi in grado di convertirle per gli usi più disparati.

Gli apparecchi comunemente detti “radio” le traducono in emissioni sonore (forse anche per questo le onde radio sono spesso confuse con le onde acustiche) secondo un principio di funzionamento che (almeno fino a un certo punto) è identico a quello dei radiotelescopi: ricevono le onde radio tramite un’antenna, le trasformano in segnale elettrico e poi in suono. Più o meno lo stesso fanno i telefoni cellulari quando telefoniamo (dopo aver ricevuto il segnale tramite un’antenna radio, visibile nei vecchi modelli), mentre gli apparecchi televisivi possono mostrare, se presente, anche l’immagine contenuta e codificata nell’onda radio che ricevono, sempre tramite un’antenna radio. Oltre che per le telecomunicazioni, le onde radio sono usate anche per la trasmissione di comandi (nei telecomandi) o di segnali in genere, perché si propagano nello spazio, senza bisogno di fili (*wireless*).

<sup>3</sup> Fonte: cortometraggio *Come funziona: la radioastronomia*, di S. Righini e L. Morganti, 2014.

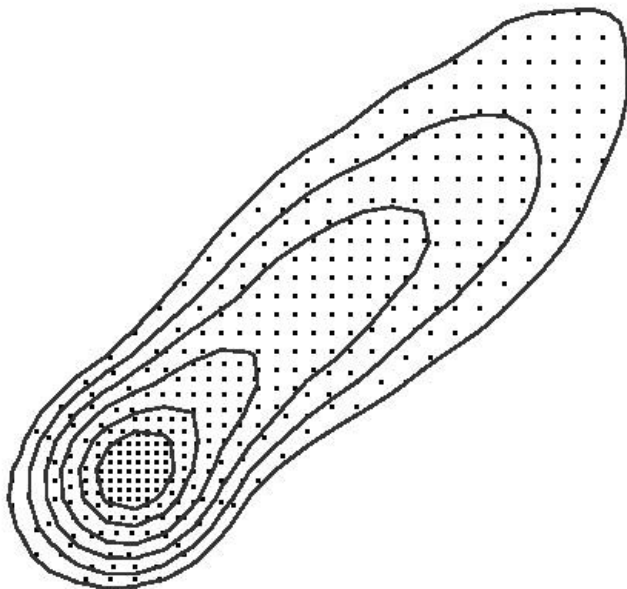
<sup>4</sup> *Ibidem*.



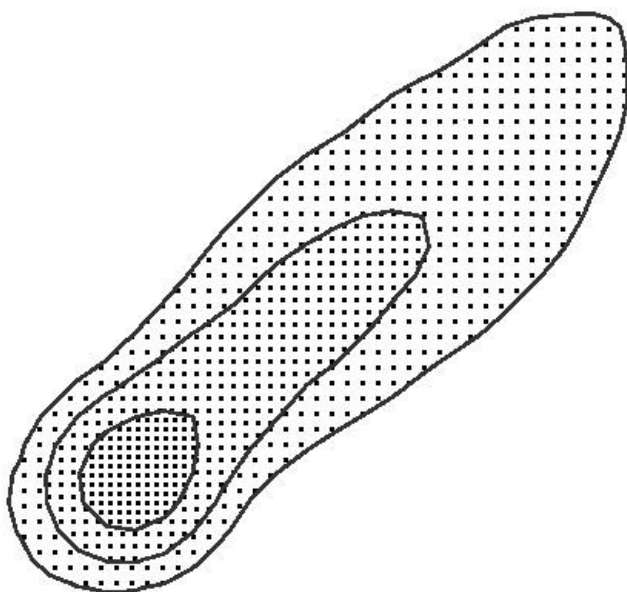
Queste emissioni di onde radio sono prodotte dall'uomo, quindi *artificiali*. Ne esistono anche di *naturali*, prodotte da fenomeni fisici che comportano emissioni di energia che si manifestano come onde elettromagnetiche a frequenze radio.

## APPENDICE 2: Mappe tattili alternative alla mappa 2

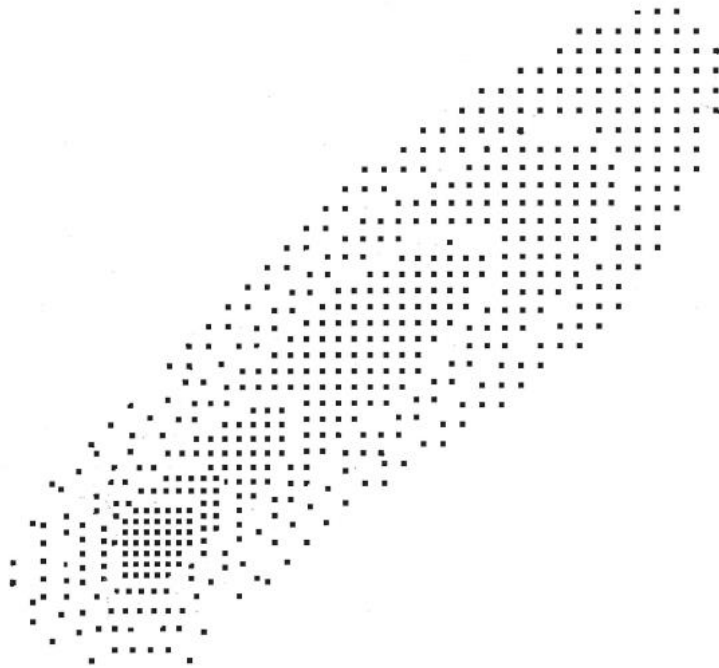
1.1 Immagine con lo stesso numero di contorni (sei), ma con maggiore differenza tra i livelli di densità delle texture.



1.2 Immagine con la metà dei contorni (solo tre, uno ogni due) e intervalli di densità delle texture corrispondenti ai primi tre dell'immagine precedente.



1.3 Immagine equivalente alla mappa 2 di Figura 30, ma senza contorni in rilievo.



1.4 Immagine con solo tre variazioni di densità delle texture (equivalente a Figura 1.3), ancora senza contorni in rilievo.



## APPENDICE 3: Software per la rappresentazione uditiva

Testo del programma *audioscopio.py* in linguaggio python.

---

```
# francesco bedosti - 2015 - v1.12

import csv
import alsaaudio

import math
import struct
import array
import time
import scipy.spatial
import numpy
import argparse
import os
import Tkinter

#####
# config #

L_ear_pos = (-10,0,0)
R_ear_pos = (10,0,0)

samplerate = 22050
soundspeed = 5000
framesize = 1024

sourcesfile = 'sources.csv'

keys = ["w", "a", "s", "d", "f", "g"]
#####

def key(event):
    if event.char == event.keysym:
        msg = 'Key %r' % event.char
        label1.config(text=msg)
        if (event.char == 'q'):
            print 'bye!'
```

```

        stop()
    try:
        try:
            source_num = int(event.char)
        except ValueError:
            if event.char in keys:
                source_num = keys.index(event.char)
    print str(source_num) + " pressed"
    if(source_num < len(args.source) ):
        if (enabled[source_num] == "disabled"):
            enabled[source_num] = args.source[source_num]
            print str(args.source[source_num]) + " enabled"
            stop()
            start()
    except ValueError:
        return False

def keyrelease(event):
    try:
        source_num = int(event.char)
    except ValueError:
        if event.char in keys:
            source_num = keys.index(event.char)
    print str(source_num) + " released"
    if(source_num < len(args.source) ):
        enabled[source_num] = "disabled"
        print str(args.source[source_num]) + " disabled"
        # reload
        stop()
        start()

# x, y, z, freq, amp

def ISL(amplitude,distance):
    amplitude = amplitude / (4 * math.pi * math.pow(distance,2))
    return amplitude;

def parsefile(sfile):
    global source

```

```

global sources
global num_sources

with open(sfile, 'rb') as csvfile:
    reader = csv.DictReader(csvfile, delimiter=',', quotechar='|')
    print "enabled: "+str(enabled)
    for row in reader:
        print "processing "+row['name']
        source = numpy.zeros((1, 2, 4))

        source[0][0][0] = float(row['freq'])/samplerate
        source[0][1][0] = float(row['freq'])/samplerate

        distance_L =
scipy.spatial.distance.euclidean(numpy.array(map(float, (row['x'],
row['y'], row['z']))),L_ear_pos)
        distance_R =
scipy.spatial.distance.euclidean(numpy.array(map(float, (row['x'],
row['y'], row['z']))),R_ear_pos)
        print 'distance: ' + str(distance_L) + ', ' + str(distance_R)

    if (not enabled or any(row['name'] in s for s in enabled)):
        source[0][0][2] = ISL(float(row['amp']),distance_L)
        source[0][1][2] = ISL(float(row['amp']),distance_R)
    else:
        print "not processing " + row['name']
        source[0][0][2] = 0
        source[0][1][2] = 0

        source[0][0][3] = distance_L/soundspeed
        source[0][1][3] = distance_R/soundspeed

    print 'source:\n [%s]' % ', '.join(map(str, source))

    try:
        sources = numpy.concatenate((sources, source), axis=0)
    except ValueError:
        sources = source

if (sources != None):

```

```

        num_sources = len(sources)
    else:
        num_sources = 0
    print str(num_sources) + " sorgenti\n"

# genera buffer
def buffer_populate():
    samplebuffer = []
    for x in range(0, framesize):
        sources[:, :, 1] += sources[:, :, 0]
        samplebuffer.extend(numpy.sum(numpy.sin(sources[:, :, 1]
sources[:, :, 3]) * sources[:, :, 2], axis=0))
    data = struct.pack(format, *samplebuffer)
    return (data)

def start():
    global go
    go = 1
    parsefile(sourcesfile)
    while go:
        indata = buffer_populate()
        out.write(indata)
        root.update()

def stop():
    global go
    global num_sources
    global sources
    num_sources = 0
    sources = None
    go = 0

# variabili
go = 0
source = []
sources = None
num_sources = 0
format = '%sf' % 2*framesize

# parse argomenti

```

```

parser = argparse.ArgumentParser(description='Play sines defined in ' +
sourcesfile)
parser.add_argument('source', metavar='source', nargs='*', help='source
id')
args = parser.parse_args()
enabled = list(args.source)

# grafica
print "turn on GUI"
root = Tkinter.Tk()
prompt = 'in key'
labell = Tkinter.Label(root, text=prompt, width=len(prompt), bg='yellow')
labell.pack()
root.bind_all('<Key>', key)
root.bind_all("<KeyRelease>", keyrelease)
os.system('xset r on')

## alsaaudio
print "turn on audio"
out = alsaaudio.PCM(alsaaudio.PCM_PLAYBACK)
out.setchannels(2)
out.setrate(samplerate)
out.setformat(alsaaudio.PCM_FORMAT_FLOAT_LE)
out.setperiodsize(framesize)

# spegne autorepeat
os.system("xset r off")

# fai
print "start\n"
start()

# ripristina
os.system("xset r on")

```



## Bibliografia

### A

- AA.VV., *From PUS to PEST*, Science, 298, 2002, p.49.
- Francesco Antinucci (Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del CNR di Roma) *Prototipo per la percezione sinestetica di dipinti per non vedenti*, rapporto CNR, 2003 (<https://www.cnr.it/it/focus/078-4/la-percezione-sinestetica-di-dipinti-per-non-vedenti>).
- Aristotele, *Metafisica*, IV a.C.
- Ludovico Ausiello, *Codifica sinestetica dei colori mediante suoni in un dispositivo per videolesi*, tesi di Laurea, Università di Bologna, a.a. 2003-2004.

### B

- John David Barrow, *Le immagini della scienza*, Milano, Mondadori, 2009.
- *Scienza & Democrazia* (tratto dall'omonima rubrica di Tuttoscienze-LaStampa), a cura di Gabriele Beccaria e Andrea Grignolio, La Stampa 40K, 2015.
- Bernhard Beck-Winchatz, *Can Blind People be Astronomers?*, atti del convegno *Future Reflections*, 2002.
- Guglielmo Bevilacqua, *Punto zero. Teorie sulla sinestesia per il prototipo di una performance audiovisiva*, tesi di Laurea, Politecnico di Milano, a.a. 2010-2011.
- Walter Fred Bodmer et al., *The public understanding of science*, [https://royalsociety.org/~media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/1985/10700.pdf](https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/1985/10700.pdf)

### C

- Luca Cappelletti, *Resa tattile del colore nell'apparato VIDET per videolesi*, tesi di Laurea, Università di Bologna, a.a. 1995-1996.
- Zaira Cattaneo et al. *Imagery and spatial processes in blindness and visual impairment*, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 32, pp. 1346–1360, 2008.
- Emanuele Cecchetelli, *Implementazione di un sistema di resa acustica del colore a tavolozza continua ai fini della sperimentazione*, tesi di Laurea, Università di Bologna, a.a. 2004-2005.

- Felice Cimatti, *Fondamenti naturali della comunicazione*, in *Manuale della comunicazione*, a cura di Stefano Gensini, con la collaborazione di Felice Cimatti, Roma, Carocci Editore, pp. 53-88, 1999.
- Philippe Claudet, *La differenza non è una sottrazione*, Roma, Lapis, 2009.
- Mario Coriasco et al., *L'immagine digitale in diagnostica per immagini, Tecniche e applicazioni*, Milano, Springer, 2013.
- Lucia Covi, introduzione al catalogo della mostra *Blow-up, immagini del nanomondo*, 2006.

## D

- Ferdinand De Saussure, *Cours de linguistique générale*, Losanna, Payot, 1922, tr. it. Tullio De Mauro, *Corso di linguistica generale*, Roma, Laterza, 1970.
- *Fondamenti di Psicologia generale*, a cura di Carlamaria Del Miglio, Roma, Borla, 2002.
- Valentina Di Pietro, *Un esempio di ricostruzione disciplinare in prospettiva didattica: l'interpretazione delle immagini in Fisica Moderna*, tesi di Laurea Università di Bologna, a.a. 2006-2007, sessione I.

## E

- Umberto Eco, *Segno*, Milano, Isedi e Oscar Mondadori, 1973.
- Umberto Eco, *Trattato di semiotica generale*, Milano, Bompiani, 1975
- Umberto Eco, *Semiotica e filosofia del linguaggio*, Torino, Einaudi, 1984.
- Umberto Eco, *Kant e l'ornitorinco*, Milano, Bompiani, 1997.

## F

- Luciano Floridi, *Semantic Conceptions of Information*, Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2013, [plato.stanford.edu/entries/information-semantic/](http://plato.stanford.edu/entries/information-semantic/)
- Michael Friendly, *A brief history of data visualization*, Berlino, Springer-Verlag, 2006.
- Michael Friendly, *Milestones in the history of thematic cartography, statistical graphics, and data visualization*, 2009, <http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/milestone/milestone.pdf>

## G

- Umberto Galimberti, *Orme del sacro*, Roma, Feltrinelli, 2000.
- Aldo Grassini, *I ciechi e l'esperienza del bello: il Museo Tattile Statale Omero di Ancona* in Aldo Grassini *Per un'estetica della tattilità*, Roma, Armando, 2015.
- Algirdas Julien Greimas, *Sémiotique figurative et sémiotique plastique*, in *Actes sémiotique. Documents*, 60, 1984 (tr. it., Lucia Corrain e Mario Valenti, *Semiotica figurativa e semiotica plastica* in *Leggere l'opera d'arte*, Bologna, Esculapio, 1991).
- Noreen Grice, *Touch the Stars*, Boston, National Braille Press, 2002.
- Noreen Grice, *Touch the Universe - A NASA Braille Book of Astronomy*, Washington, Joseph Henry Press, 2002.
- Noreen Grice, *Touch the Sun - A NASA Braille Book*, Washington, Joseph Henry Press, 2005.
- Noreen Grice, *The Little Moon Phase Book*, Bayamon, Ozone Publishing Corp., 2005.
- Noreen Grice, *Touch the Invisible Sky*, Bayamon, Ozone Publishing Corp., 2007.

## H

- David Hestenes, *Modeling games in the Newtonian World*, American Journal of Physics, Vol. 60, 1992.
- Louis Hjelmslev, *Omkring Sprogteoriens grundlaeggelse*, Kobenhavn, 1943, tr. it. Giulio Lepschy *I fondamenti della teoria del linguaggio*, Torino, Einaudi, 1968.
- Roald Hoffmann, introduzione al catalogo della mostra *Blow-up, immagini del nanomondo*, 2006.

## I

- Tina Iachini & Gennaro Ruggiero, *The role of visual experience in mental scanning of actual pathways: Evidence from blind and sighted people*, Perception, volume 39, pp. 953-969, 2010.

## J

- Roman Jakobson, *Essais de linguistique générale*, Parigi, Ed De Minuit, 1963 (tr. it. a cura di Luigi Heilmann, *Saggi di linguistica generale*, Roma, Feltrinelli, 1966).

## M

- Bryan Magee, Martin Milligan, *Sulla Cecità*, Roma, Astrolabio, 1997.
- Costantino Marmo, *Segni, linguaggi e testi. Semiotica per la comunicazione*, Bologna, Bononia University Press, 2014.
- Isabel Martins, *Visual imagery in school science texts* all'interno di *The Psychology of Science Text Comprehension* a cura di Josè Otero, Jos. A. Leçn, Arthur C. Graesser, Mahwah, New Jersey, US, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2002. L'edizione da cui sono tratte le citazioni di questa tesi è London, Routledge, 2014.
- Marco Mazzeo, *Il cieco e i colori: verbalismo ed esonero*, in *Storia naturale della sinestesia. Dalla questione di Molyneux a Jakobson*, Macerata, Quodlibet, 2005.
- Nicholas Mirzoeff, *The Visual Culture Reader*, London, New York, Routledge, 1998.
- Elisa Molinari, Introduzione al catalogo della mostra *Blow-up, immagini del nanomondo*, 2006.
- Tamara Munzner, *Process and Pitfalls in Writing Information: Visualization Research Papers*, 2008, <http://www.cs.ubc.ca/labs/imager/tr/2008/pitfalls/pitfalls.pdf>
- Museo Tattile Statale Omero, *L'arte a portata di mano*, Roma, Armando Editore, 2006.

## P

- Daniela Parente, *I musei per i non vedenti in Italia*, Napoli, Cuen, 2006.
- Silvia Parigi, *Teoria e storia del problema di Molyneux*, in «Laboratorio dell'ISPF», I, 2004, ISSN 1824-9817.
- Ruggero Pierantoni, *La trottola di Prometeo. Introduzione alla percezione acustica e visiva*, Roma, Laterza, 1996.
- Charles Sanders Pierce, *Collected Papers* (manoscritto del 1903), tr. it in *Semiotica. I fondamenti della semiotica cognitiva*, a cura di M.A. Bonfantini, L. Grassi e R. Grazia, Torino, Einaudi, 1980.
- John Robinson Pierce, *The science of musical sound*, Scientific American Library, 1983.
- Enrica Polato, *Per immaginare, la mente ha bisogno di immagini, L'importanza dei libri illustrati tattilmente come mediatori per l'alfabetizzazione e la relazione nei bambini in età prescolare*, in occasione della manifestazione "Libri che prendono forma" (Roma 2010).
- Piero Polidoro, *Che cos'è la semiotica visiva*, Roma, Carrocci, 2008.

## R

- Simona Righini e Lucia Morganti, *Come funziona: la radioastronomia* (cortometraggio), produzione Xilostudios, 2014.
- Augusto Romagnoli, *Ragazzi Ciechi*, Roma, Armando Editore, 1973.
- Audrey C. Rule, *Tactile Earth and Space Science Materials for Students with Visual Impairments: Contours, Craters, Asteroids, and Features of Mars*, *Journal of Geoscience Education*, Vol. 59, No. 4, pp. 205-218, 2011.
- Francesco Ruotolo et al. *Sequential vs simultaneous encoding of spatial information: A comparison between the blind and the sighted*, *Acta Psychologica* 139, pp. 382–389, 2012.

## S

- Loretta Secchi, *Toccare la pittura. Il Museo tattile Anteros dell'Istituto dei Ciechi F. Cavazza di Bologna*, in *L'integrazione scolastica e sociale*, a cura di A. Canevaro, M. Pavone e R. Caldin, Trento, Erickson, Vol. 8 n° 1 febbraio 2009.

## T

- Catherine Thinus-Blanc & Florence Gaunet, *Representation of Space in Blind Persons: Vision as a Spatial Sense?*, *Psychological Bulletin*, Vol. 121, No 1, pp. 20-42, 1997
- Gerard Tortora, Bryan Derrickson, *Conosciamo il corpo umano*, Bologna, Zanichelli, 2009.

**Sitografia (in ordine di citazione):**

[en.wikipedia.org/wiki/A\\_picture\\_is\\_worth\\_a\\_thousand\\_words](http://en.wikipedia.org/wiki/A_picture_is_worth_a_thousand_words)

[www.imagethink.net/imagethink-2/true-or-falsevisuals-superior-medium/](http://www.imagethink.net/imagethink-2/true-or-falsevisuals-superior-medium/)

[www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/milestone/](http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/milestone/)

[blogs.isisdavinci.it/valeria\\_alessandro/2012/04/30/lo-spettro-elettromagnetico/](http://blogs.isisdavinci.it/valeria_alessandro/2012/04/30/lo-spettro-elettromagnetico/)

[www.tumblr.com/spotlight/science](http://www.tumblr.com/spotlight/science)

[svs.gsfc.nasa.gov/index.html](http://svs.gsfc.nasa.gov/index.html)

[www.3dmax-tutorials.com/Pseudo\\_Color\\_Exposure\\_Control.html](http://www.3dmax-tutorials.com/Pseudo_Color_Exposure_Control.html)

[www.ft.unicamp.br/docentes/magic/khoros/html-dip/c4/s10/front-page.html](http://www.ft.unicamp.br/docentes/magic/khoros/html-dip/c4/s10/front-page.html)

[coolcosmos.ipac.caltech.edu/image\\_galleries/ir\\_zoo/cat.html](http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/image_galleries/ir_zoo/cat.html)

[www.indiscoveries.com/science/what-is-inside-the-earth](http://www.indiscoveries.com/science/what-is-inside-the-earth)

[medium.com/starts-with-a-bang/the-illusion-of-reality-7456385d2313](http://medium.com/starts-with-a-bang/the-illusion-of-reality-7456385d2313)

[www.universetoday.com/11863/true-or-false-color-the-art-of-extraterrestrial-photography/](http://www.universetoday.com/11863/true-or-false-color-the-art-of-extraterrestrial-photography/)

[www.exploratorium.edu/vre/pdf/afm\\_rp\\_03.pdf](http://www.exploratorium.edu/vre/pdf/afm_rp_03.pdf)

[www.treccani.it/enciclopedia/visione\\_\(Enciclopedia\\_dei\\_ragazzi\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/visione_(Enciclopedia_dei_ragazzi)/)

[salute.agi.it/primapagina/notizie/39radar39-per-ciechi-funziona-meglio-di-cani-e-bastoni?](http://salute.agi.it/primapagina/notizie/39radar39-per-ciechi-funziona-meglio-di-cani-e-bastoni?)

[vis.dm.unibo.it/videt/videt.htm](http://vis.dm.unibo.it/videt/videt.htm)

[www.iac.es/proyecto/eavi/](http://www.iac.es/proyecto/eavi/)

[www.newscientist.com/article/dn28421-smart-glasses-translate-video-into-sound-to-help-the-blind-see/](http://www.newscientist.com/article/dn28421-smart-glasses-translate-video-into-sound-to-help-the-blind-see/)

[www.seeingwithsound.com/](http://www.seeingwithsound.com/)

[www.dickbaldwin.com/tocPhysics.htm](http://www.dickbaldwin.com/tocPhysics.htm)

[iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/26/4/004/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/26/4/004/pdf)

[www.nottingham.ac.uk/pesl/resources/disability/teaching102/](http://www.nottingham.ac.uk/pesl/resources/disability/teaching102/)

[www.perkinselearning.org/scout/teaching-physical-science-students-who-are-blind-or-visually-impaired](http://www.perkinselearning.org/scout/teaching-physical-science-students-who-are-blind-or-visually-impaired)

[www.sciencefortheblind.com/](http://www.sciencefortheblind.com/)

[sonify.psych.gatech.edu/presscoverage/2006/NewScientist-2006-08-11-Volcanoes.pdf](http://sonify.psych.gatech.edu/presscoverage/2006/NewScientist-2006-08-11-Volcanoes.pdf)

[www.radioastrolab.it/radio-astronomia/bande-elf-vlf-lf-e-radio-natura](http://www.radioastrolab.it/radio-astronomia/bande-elf-vlf-lf-e-radio-natura).

[www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160211v2](http://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160211v2)

[www.media.inaf.it/2016/02/11/vedere-sentire-onde-gravitazionali/](http://www.media.inaf.it/2016/02/11/vedere-sentire-onde-gravitazionali/)

[www.youtube.com/watch?v=\\_582rU6neLc](http://www.youtube.com/watch?v=_582rU6neLc)

[gmunu.mit.edu/sounds/sounds.html](http://gmunu.mit.edu/sounds/sounds.html)

[it.wikipedia.org/wiki/Colore](http://it.wikipedia.org/wiki/Colore).

[earthobservatory.nasa.gov/Features/Grapes/grapes\\_3.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Grapes/grapes_3.php)

[www.remotesensing.com.au/precvit.html](http://www.remotesensing.com.au/precvit.html)

[earthobservatory.nasa.gov/Features/Grapes/grapes\\_3.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Grapes/grapes_3.php)

<http://share.dschola.it/icnasi/Shared%20Documents/SCUOLA%20POLO%20HC/FORMAZIONE%20DOCENTI%20NON%20SPECIALIZZATI%20a.s.%202010-11/deficit%20non%20vedenti-%20Lova/orientamento%20e%20mobilita.pdf>

[www.terena.org/activities/network-arts/london/slides/Data-Sonification-Domenico.pdf](http://www.terena.org/activities/network-arts/london/slides/Data-Sonification-Domenico.pdf)

[images.nrao.edu/90](http://images.nrao.edu/90).

[www.treccani.it/enciclopedia/olfatto-e-gusto\\_\(Enciclopedia\\_della\\_Scienza\\_e\\_della\\_Tecnica\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/olfatto-e-gusto_(Enciclopedia_della_Scienza_e_della_Tecnica)/)

[www.letturagevolata.it/letturagevolata/rappresentazioni-tattili/tecniche-disegno-a-rilievo/carta-a-microcapsule-e-fornetto](http://www.letturagevolata.it/letturagevolata/rappresentazioni-tattili/tecniche-disegno-a-rilievo/carta-a-microcapsule-e-fornetto).

[www.kickstarter.com/projects/joylabz/makey-makey-an-invention-kit-for-everyone](http://www.kickstarter.com/projects/joylabz/makey-makey-an-invention-kit-for-everyone)

[it.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_\(hardware\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Arduino_(hardware))

[www.treccani.it/vocabolario/onda/](http://www.treccani.it/vocabolario/onda/)