

LA VISIONE SCIENTIFICA E LE IMMAGINI DELLA RICERCA¹

FEDERICO BRUNETTI

Politecnico di Milano, Dipartimento In.D.A.Co (Industrial Design, Arts & Communication)

La conoscenza è un atteggiamento, una passione. [...] Non è vero che il ricercatore insegue la verità, è la verità che insegue il ricercatore.

ROBERT MUSIL, *L'uomo senza qualità*,

Se cerchiamo di osservare lo specchio in sé, alla fine non scopriamo che le cose su di esso; se vogliamo afferrare le cose, non torniamo a trovare altro che lo specchio. Questa è la più generale storia della conoscenza

FRIEDRICH NIETZSCHE, *Aurora*

1. Introduzione

La ricerca scientifica si avvale di metodologie di rappresentazione normalmente già acquisite nei linguaggi comunicativi consueti ma, dovendo evolvere e decifrare i risultati di esperimenti e aprendo nuovi scenari di indagine, predispone anche modi di figurazione innovativi per ottenere le più appropriate visualizzazioni dei fenomeni indagati.

In via di collaudo o di calibrazione sperimentale, le immagini generate per tali visualizzazioni sono configurate per poterne verificare l'efficacia in fase di raffigurazione effettiva dei dati acquisiti ed entrano a far parte di un immaginario iconografico della contemporaneità, anticipando e prefigurando, analogamente alle sperimentazioni dell'arte contemporanea, i codici visivi che entreranno a fare parte del possibile patrimonio dei futuri linguaggi condivisi.

In una sommaria suddivisione di competenze, si potrebbe affermare che

la scienza si occupa di *scoperte*

ovvero: di trovare leggi e oggetti che non sono conosciuti ma già esistono in natura, o dei quali, se già conosciuti, non è ancora stato possibile trovare una soddisfacente collocazione tassonomica, mentre

l'arte si occupa di *invenzioni*

¹ Il presente contributo è una versione estesa della conferenza tenuta giovedì 3 novembre 2011 nell'ambito dell'incontro organizzato da Pianeta Galileo su "Arti visive e nuove frontiere della cosmologia", presso l'Accademia delle Arti e del Disegno. Alcuni estratti della conferenza sono stati presentati in seguito dall'autore anche nella Plenary Lecture del congresso internazionale APLIMAT 2012, presso la Faculty of Mechanical Engineering of Technology a Bratislava, all'interno di una relazione dal titolo "Scientific iconography between mathematics and arts in the age of digital visualization. first outlines", cfr. www.aplimat.com/General_Information/zoznam_prijatych_clankov.php 2012.02.04

ovvero di realizzare artefatti ricomponendo elementi già noti, ricombinandone le parti al fine di proporre una diversa relazione di significati e funzioni tra le parti, che innovi e possa modificare lo stato di natura pre-esistente.

Tale schematica partizione lascia evidentemente un ampio margine d'ibridazione, rintracciabile in diversi ambiti del sapere. Un esempio per tutti: la tecnica (*techné*) – e la progettazione in generale – si colloca come una *cross-science* tra le discipline dello *scoprire* e quelle dell'*inventare*, in quanto mette a frutto le conoscenze sulle proprietà della materia e cerca di ricombinarne i componenti al fine di realizzare artefatti finalizzati alla ri-creazione della natura².





PIANETA GALILEO 2011

ACCADEMIA DELLE ARTI DEL DISEGNO
in collaborazione con
GABINETTO SCIENTIFICO LETTERARIO G.P. VIEUSSEUX
OSSERVATORIO ASTRONOMICICO DI ARCETRI
SOCIETÀ ITALIANA PER LO STUDIO DEI RAPPORTI TRA SCIENZA E LETTERATURA (SISL)

Giovedì 3 novembre 2011, ore 16-19
Accademia delle Arti del Disegno, Sala delle Adunanze
Via Orsanmichele 4, Firenze

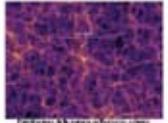
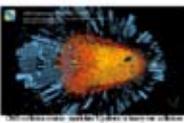
**Arti visive e nuove frontiere
della cosmologia**



Intervengono
Federico Brunetti
Politecnico di Milano
Dept. In.N.Da.Co.
Edvige Corbelli
Osservatorio Astronomico di Arcetri
Raffaella Schneider
Osservatorio Astronomico di Roma

Coordina
Pietro Greco
Città della Scienza, Napoli



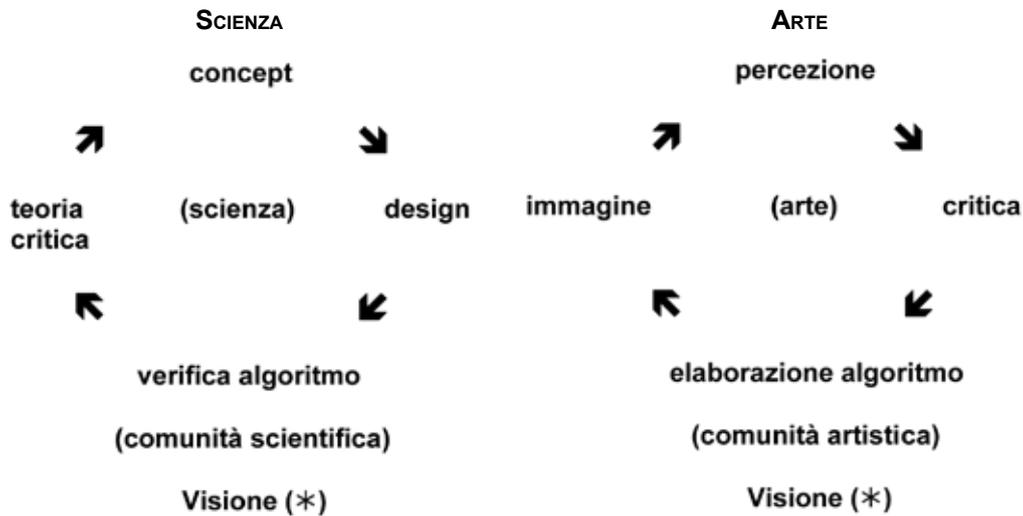
*Nella mattinata avrà luogo un incontro con le scuole sul tema
a cura della Società Filosofica Italiana*

Informazioni
Accademia delle Arti del Disegno, Via Orsanmichele 4, 50123 Firenze
Tel. 055.219642, Fax: 055.288164, email: info@adefi.it

Questi due processi cognitivi possono essere resi con due corrispondenti diagrammi³:

2 Come emerso nel 5° *Seminario Internacional Arquitectonics Network en América: La Investigación como Proyecto, el Proyecto como Investigación*. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga (Colombia), svoltosi dal 30 maggio al 1 giugno 2012. Vedi anche: la rivista internazionale *ARQUITECTONICS: Mente, Sociedad y Territorio*, www.arquitectonics.com e in particolare *Progettopassante: Meta-projectual prefigurations in the hypogean* di F. Brunetti e J. L. Chacón

3 Il termine "visione" e l'asterisco che lo segue saranno chiariti nel successivo § 6.



SCIENZA. Il diagramma a sinistra delinea un ciclo entro il quale si svolge il percorso della ricerca scientifica: partendo dalla definizione di una *teoria* si identifica la possibilità del *concept* di un nuovo esperimento che potrà – immediatamente o nel corso di progressive evoluzioni tecnologiche – verificarne le ipotesi. Il *design* operativo e l’esecuzione dell’esperimento permetteranno di verificare la teoria tramite l’elaborazione dei dati alla luce di specifici *algoritmi*, appositamente configurati per valutare gli obiettivi della ricerca; la verifica avviene nel contesto della *comunità scientifica* deputata a stabilire se la *teoria* di partenza è stata confermata o è stata confutata, cfr. [33], e in questo secondo caso si rende necessario elaborare una nuova *teoria*.

ARTE. Analogamente, il diagramma a destra delinea un ciclo entro il quale si svolge il percorso della ricerca artistica: ogni opera si comunica attraverso la proposta di un’*immagine*, implicitamente motivata da una teoria interpretativa dell’esperienza del reale; ogni nuova immagine altera lo stato dei linguaggi consolidati, innovando la *percezione* del contesto in cui l’opera è inserita, cfr. [2]. Il ruolo della *critica* artistica è (o dovrebbe essere) quello di comprendere il senso di tale innovazione, [43], originariamente implicito nell’immagine, permettendo di elaborarne l’*algoritmo* trasformativo e rendendone condivisibili i contenuti innovativi. Ciò avviene nel contesto della *comunità artistica* deputata a recepire, condividere e confutare l’immagine da cui tale percorso ha avuto origine, cfr. [59]. Nel caso in cui si generi un riconoscimento percettivo e intellettuale nei confronti dell’opera, si creano le condizioni per una nuova *immagine*.

In entrambi i casi il percorso della ricerca approda e riparte da un’esperienza di nuova visione (come si proporrà nel § 6) che si evolve dalla proposta di una nuova teoria/immagine fino al compimento esplicito del suo paradigma interpretativo (algoritmo), cfr. [28]. La ricerca scientifica e quella artistica sono riconosciute come elaborazioni (o sublimazioni) diverse del senso comune, o immagine manifesta del mondo, [40], orientandosi verso quell’area di idee definita da Karl Popper come “Mondo 3” in cui, a

partire dal dato concreto del “Mondo 1” e dalle esperienze sensoriali e rappresentazioni soggettive definite come “Mondo 2”, si trovano teorie, come insieme di congetture (ovvero ipotesi falsificabili), astratte ed invero progettuali, in grado di modificare il dato originario del “Mondo 1”.

Entrambi i percorsi ciclici sono implicitamente mossi da una ricerca della bellezza: nell'intuizione di un'armonia, quale ordine sotteso alla natura, [57], così come nell'indagine matematica che permetta agli esseri umani di indagarne le leggi sottese [03]; ed entrambi si collocano in un contesto storico-sociale che – pur lasciando al ricercatore ogni sua necessaria autonomia – resta lo scenario referenziale delle sue esplorazioni. Accanto a questi punti di simmetria sono rintracciabili anche punti di continuità tra i due ambiti [18].

2. Tre diversi aspetti della comunicazione nell'iconografia scientifica: disegno, immagini e metafore⁴

2.0 Vedere e dire

«Un desiderio, un'idea, un'azione, una materia, si fondono in ogni opera» – scriveva Paul Valery. Ogni disciplina prende origine da un ambito di interesse e ne individua il contorno di competenze dando un nome, attraverso specifiche definizioni, al sistema di oggetti che la riguardano. Le parole identificano le cose del “mondo” di cui ci s'intende occupare e il sistema semantico entro il quale rappresentiamo il “mondo” diviene partecipe delle procedure e dei metodi descrittivi, interpretativi e prefigurativi specifici della disciplina [20]. Le parole della scienza sono spesso, più che espressioni linguistiche, *percorsi logico-matematici* in formule, veicolano tassonomie alternative all'immagine “manifesta” e nascono da ipotesi teoriche che partono dall'osservazione [58] o che dall'osservazione di nuovi fenomeni necessitano di essere convalidate. In questi *percorsi* assume particolare importanza la componente iconica che, pur in forma di apparato para-testuale, se adeguatamente progettata ha un ruolo decisivo per far capire il pensiero che le ha generate, [12]. In una sommaria classificazione di tali espressioni iconiche si possono riconoscere tre principali modalità: *disegno, immagine e metafora*.

2.1 Disegno

L'impronta dei gesti, come le cifre alfanumeriche, come gli elaborati grafici dei progetti, come le tracce impresse dagli eventi fisici sui rivelatori, imprimono in forma grafico-visiva secondo specifici codici descrittivi, i concetti e le memorie da rielaborare in successive attività progettuali o interpretative, [36], [43], [46]. Nel *di-segno* si esplicita una procedura di formalizzazione che rende visibili eventi o concetti precedentemente invisibili, secondo modalità di ordinamento compositivo che già di per sé stabilizzano e rendono condivisibile l'analisi dell'oggetto di una ricerca. Analogamente alle procedure geometriche del segno grafico, nella descrizione dei fenomeni fisici si assume il punto come elemento essenziale del tracciamento degli eventi e, a partire da questo

4 Per alcune osservazioni presenti in questo paragrafo, si veda [10, pp. 42-43] e [11, pp. 63-64].

riferimento minimo, si rende possibile indagare e sviluppare lo svolgimento dinamico, [26], [29], [30], [31].

2.2 Immagine

La produzione di artefatti visivi elabora il dato raccolto per renderne possibile l'interpretazione, orientandone la percepibilità e integrando l'informazione con valori contestuali e significati estetici, che permettono un'acquisizione più profonda e condivisa, [42]. L'immagine è riconosciuta, nella fase euristica della ricerca scientifica (non meno che in quella artistica, [60]), come la configurazione mentale, ancor prima che visuale, [22], di una modalità sintetica nella comprensione di un problema e dei suoi dati, tale da rendere ulteriormente possibile l'approfondimento logico-formale dell'interpretazione, [32], [15]. La rappresentazione di un dato concreto, o di un assunto ipotetico, trova nella realizzazione di un'immagine la sua forma percettivamente più recettibile, pur sempre espressione in un sistema di codici comunicativi condivisi, [43], [1], [41], [28], [27].

Le caratteristiche di verosimiglianza e “fotorealismo”, oppure di espressività schematica/allusiva, possono caratterizzare in maniera duplice un'immagine, a seconda dell'intenzionalità descrittiva oppure evocativa che le si vuole attribuire, [7], [21].

In fisica, una questione cruciale nell'odierna immagine del mondo è l'estensione progressiva di scale dimensionali. La nostra comprensione dei fenomeni non può che partire dal livello percepibile della materia, ma si affina nel microscopico e si espande nell'infinitamente grande. La procedura retorica e figurativa della *sineddoche* pare venire incontro a tale polarità. Nel trattamento digitale dei dati, la produzione di immagini virtuali – incluse le “renderizzazioni” di modelli tridimensionali – assume importanza strategica, non solo per l'impegno delle procedure di calcolo coinvolte nella visualizzazione simulata, ma anche e soprattutto per la versatile possibilità di restituire, con modalità *qualitative* (sul piano percettivo), dati e misure originariamente *quantitativi*, favorendone l'interpretazione, [56], [52].

2.3. Metafora

La remota origine classica di questa figura retorica e il suo uso nell'espressione poetica, pur non ignorando la considerazione che il pensiero filosofico occidentale ne ha offerto [05], ha tenuto distante l'epistemologia della prima modernità da questa forma di “concezione”, più recentemente rivalutata nell'analisi di fenomeni che si distaccano significativamente dalla possibilità diretta dell'esperienza, come avviene con i fenomeni indagati dalla fisica quantistica, [16]. La metafora è una fondamentale modalità cognitiva, prima che comunicativa, che utilizza una procedura linguistica per definire, in modo traslato, la forma o il concetto di un oggetto, introducendo e riferendosi alla figura di un altro già noto o più noto. Questa modalità cognitiva e comunicativa, [48], presente sia in forma testuale sia in veste iconografica, adotta volontariamente un modello non solo per facilitare la rappresentazione della struttura formale dei fenomeni, ma anche per proporre la comprensione del dato secondo un'ipotesi che ne interpreti il

significato, mettendo in evidenza quegli elementi che ne riconducano la comprensibilità al livello dell'esperienza condivisa, [14].

2.4. Direzioni di sintesi

Disegno, immagine e metafora, dunque, possono essere una prima guida orientativa per intendere l'atlante di immagini utilizzate nella comunicazione scientifica, elaborate dai ricercatori per comprendersi reciprocamente. Al di là dei singoli casi fin qui campionati, in molti rigorosi protocolli della ricerca sono riscontrabili esempi di ibridazioni tra queste categorie, proposte come una prima tassonomia iconologica dell'universo di pensiero visuale, [19]. La stessa comunicazione finalizzata a "divulgare" l'attività scientifica non può che avere specifici argomenti e linguaggi disciplinari come oggetto del proprio discorso, ma deve acquisire le competenze necessarie per trovare gli strumenti espressivi [9] per tradurre senza ridurre, tramandare senza travisare, far comprendere senza imporre.

Diversamente dall'epitaffio SEE-SHOW-SELL (Vedi-Mostra-Vendi), suggerito laconicamente da Wim Wenders in *Lisbon story* quale epilogo creativo del racconto cinematografico mercificato, la scienza deve trovare le vie e i modi per comunicare i propri risultati e i metodi usati per conseguirli, nella ricerca della comprensione e del consenso sociale, non come mera strategia di approvazione da parte della *polis*, ma come impegno a offrire alla pubblica condivisione i percorsi della ricerca, [17].

2.5. Bellezza

Una costante estetica è presente come dimensione qualitativa nella ricerca scientifica [16]: nell'ordine della natura [55], nello stupore indagatore che muove l'osservazione [6], nell'eleganza dell'espressione matematica [35], nella razionale complessità della tecnica, nella macchina come involontaria allusione d'arte, nelle simmetrie del pensiero teorico che indaga le simmetrie della materia [10], [12].

3. Immagini tra scienza ed arte

La ricerca scientifica contemporanea eredita dalla propria storia – e ragionevolmente dalla *forma mentis* umana – un'attitudine a raccogliere in una sintesi percepibile le forme della propria indagine e dunque a tradurle in figurazioni ed immagini [4]. Analogamente, ma in modo più immediato, le immagini sono la modalità sintetica ed espressiva con cui l'arte realizza le proprie opere [25].

SCIENZA → immagini ← ARTE

Occorre però segnalare che il punto di vista della ricerca scientifica circa l'approccio iconico è stato [61] e tuttora resta sensibilmente critico. Le procedure logico-deduttive e le più astratte formulazioni matematiche presidiano infatti il campo del sapere scientifico, tanto che risultati puramente sintattico-formali dovrebbero essere comprensibili per i ricercatori a prescindere dalla loro possibile visualizzazione o comunicazione iconica. Ma, in alcuni casi, gli scienziati stessi dichiarano apertamente di esser giunti alla piena comprensione di un problema o a intendere il significato di un sistema di

fenomeni, utilizzando processi intuitivi molto simili alla “visione” di una forma, intesa come percezione sintetica (nel senso di una *Gestalt*) di un insieme di dati, [8].

Se questa polarità tra sintattico-formale e intuitivo-visivo è stata, in passato, terreno di aspre diatribe epistemologiche, oggi le indagini delle neuroscienze possono descrivere e mappare le competenze delle diverse “aree della conoscenza” nel cervello e le loro mutue relazioni: quelle del pensiero logico-formale, quelle del linguaggio verbale, quelle delle abilità numeriche, quelle iconico-percettive, quelle teorico-intuitive. Ma alcune questioni epistemologiche potranno difficilmente essere affrontate, e tanto meno risolte, limitandosi a osservare le mappe cerebrali, bensì richiederanno lo sviluppo di nuove e più integrate forme di rappresentazione, in termini delle quali ripensare il concetto di apprendimento e perfino il concetto di autocoscienza⁵.

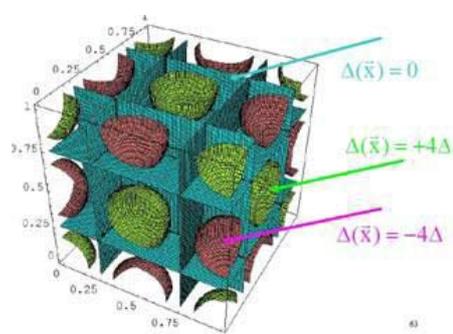


Figura 1. Roberto Casalbuni, “NGB and their parameters”, http://theory.fi.infn.it/casalbuoni/Barcellona_3.pdf, p.63.

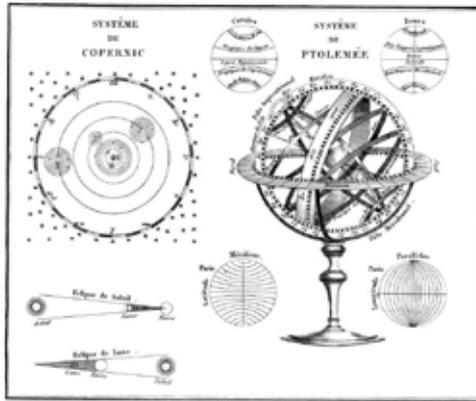


Figura 2. Jeff Gallant, “Come decodificare il cervello” www.brainforum.it/forum_on_demand.php.
Da: “Il colore del pensiero”,
Brainforum convention, Milano 2011
<http://www.brainforum.it/brainforum-2011.html>

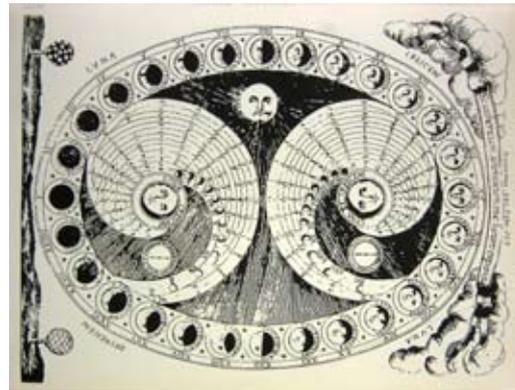
Le nuove tecnologie informatiche stanno proponendo processi integrati che trasfigurano reciprocamente dati computazionali in immagini qualitative (cromatiche o multidimensionali) permettendo di esplorare fenomeni o eventi non altrimenti percettivamente accessibili, attraverso le rilevazioni di potenti strumenti di misura (macro- o micro-scopici, nelle scale sia dello spazio che del tempo) amplificandone il segnale ottenuto per poi elaborarlo in fase di postproduzione.

L'estensione cognitiva ottenuta grazie alla nuova precisione [34] degli strumenti di ricerca è stata fondamentale nello sviluppo della scienza moderna. Basti pensare all'ottica applicata al telescopio e in seguito al microscopio; ma la potenza di amplificazione e di trattamento che è divenuta possibile tramite le tecnologie digitali sta aprendo scenari di rappresentazione ed euristica prima inconcepibili.

⁵ Mi sia consentito segnalare l'intervista che, in occasione di Brainforum Convention 2011 a Milano ho fatto a Giacomo Rizzolatti: www.ilsussidiario.net/News/Scienze/2011/4/6/NEUROSCIENZE-Rizzolatti-non-e-normale-essere-narcisista-l-uomo-e-relazione/print/165307/.



Sistema copernicano vs sistema tolemaico.



Athanasius Kircher, Ars magna lucis et umbræ, 1646.

In particolare, si verifica un interessante intreccio nella ricerche di fisica, dal momento che questioni relative alla micro-scala delle particelle si sono rivelate strettamente connesse a questioni cosmologiche, sollecitando la raffigurazione di scenari finora solo teoricamente ipotizzati, [37].

Infatti, alle frontiere della ricerca scientifica contemporanea, stanno emergendo inattese, quanto significative, correlazioni tra indagini sull'universo a grande scala, riguardanti l'antimateria e la materia oscura, e indagini in microscala (collisioni di particelle, bosone di Higgs, stati iniziali dello spazio-tempo, mediante LHC, presso il CERN di Ginevra), passando per l'osservazione multispettrale dei fenomeni cosmici relativi al rapporto tra materia ed energia. Tali questioni sono diventate un termine di paragone fondamentale per la comprensione non solo della materia e dell'universo, ma anche per la validità dei criteri generali d'interpretazione finora accettati, come ad esempio il *Modello Standard*. In questo senso, ci ritroviamo in un inaspettato continuum di domande aperte e possibili soluzioni incrociate, dallo *Zepto-spazio*, [24], al cosmo.

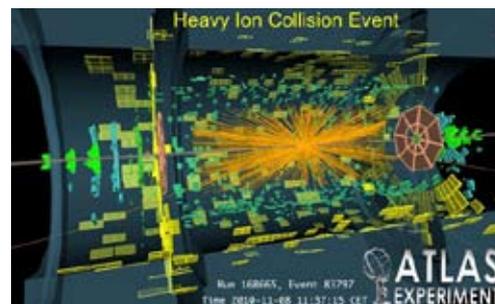
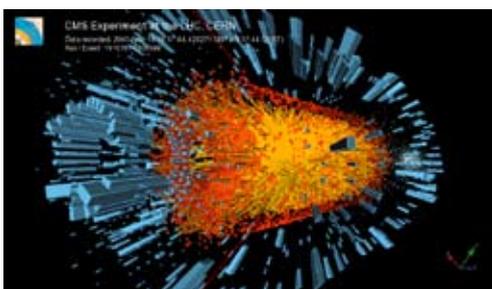


Figure 5 e 6. A sinistra: esperimenti CMS. A destra: ATLAS, LHC, Ginevra 2010 – immagini di collisioni di particelle (per gentile concessione del CERN).

È evidente come tali avanzamenti della ricerca sarebbero stati impossibili senza un congruo avanzamento tecnologico, [44]; va notato peraltro come i fondamenti teorici che hanno portato alle ipotesi di lavoro su cui ora si opera si sono basati su esperimenti di precedenti generazioni e di precedenti tecnologie (pre-digitali).



Figura 7. Max Bill, scultura e ricerca topologica, 1974. Francobollo svizzero Helvetia-Europa.

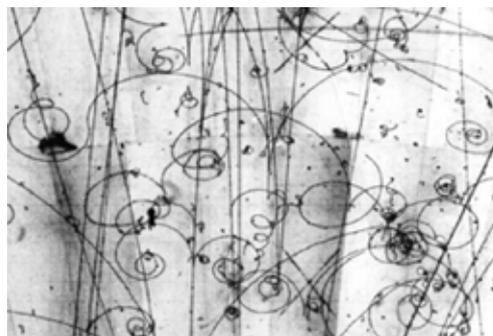


Figura 8. Immagini di tracce in una camera a bolle (intorno al 1970).

A rispettivo commento di queste figure bastino le seguenti parole di Max Bill (architetto, pittore, scultore, designer e grafico svizzero) e David Brisson (artista, docente di disegno, esperto di iperoggetti e curatore nel 1977 di una mostra di *hypergraphics*):

La matematica non è soltanto uno dei mezzi essenziali del pensiero primario, e quindi una delle risorse necessarie per la conoscenza della realtà circostante, ma anche, nei suoi elementi fondamentali, una scienza delle proporzioni e del comportamento, da oggetto a oggetto, da gruppo a gruppo, da movimento a movimento. E poiché questa scienza ha in sé questi elementi fondamentali e li mette in relazione significativa, è naturale che simili fatti possano essere rappresentati – trasformati in immagini.

Max Bill (The Mathematical Way of Thinking in the Visual Art in our time, 1949)

In conclusione, credo che non esista concezione fisica o matematica che non sia aperta alla rappresentazione grafica e che il pensiero visivo e verbale siano isomorfi l'uno all'altro.

David Brisson, Rhode Island School of Design, Providence (Stati Uniti)

4. Iconografia scientifica nell'era della visualizzazione digitale

È abbastanza agevole verificare come nello scenario della modernità, che via via si definisce fra Rinascimento e Rivoluzione Industriale, le ricerche condotte da un lato nelle scienze sperimentali e dall'altro nelle sperimentazioni delle arti visive [23] abbiano anticipato, talvolta di diversi lustri e ciascuna per suo conto, diverse figurazioni divenute poi convenzionali nel linguaggio comune. Forme, immagini e modalità di rappresentazioni finalizzate a specifiche esigenze sono poi servite nella scoperta di modelli interpretativi di fenomeni naturali e nell'invenzione di nuovi formalismi.



Figura 10. Arte-Design-Desenho-Técnica-Ciencia.

Un analogo fenomeno può essere rilevato, per quanto ci riguarda più da vicino, nelle reciproche influenze tra le immagini generate per scopi scientifici e le ipotesi elaborate dalla cultura artistica contemporanea, con echi e riverberi inattesi, grazie anche all'ampia implementazione delle tecnologie digitali.⁶ Ovviamente, la quantità di "opere" di entrambi i tipi, scientifico e artistico, da esaminare sarebbe tale da superare ogni possibile vaglio in questa sede, ma desideriamo almeno proporre all'attenzione questa tematica per il suo interesse, così come emerge da alcuni casi di studio iconografici che, più specificamente, riguardano la ricerca delle relazioni tra matematica e arte, [38], [39].

⁶ Tale dinamica sinergia è stata esplorata da una nostra preliminare indagine retrospettiva *Arte-Design-Desenho-Técnica-Ciencia*, con la quale ha preso avvio l'intreccio di interessi iconografici, in un seminario tenuto nel 2006 presso il Campus Santiago, Università di Aveiro (Portogallo) e successivamente nel corso "Drawing as language in design project: a course of analysis via Vesely and Perez-Gomez", tenuto nell'ambito del secondo forum internazionale "Design as a Process", 2010, svoltosi presso la stessa università.

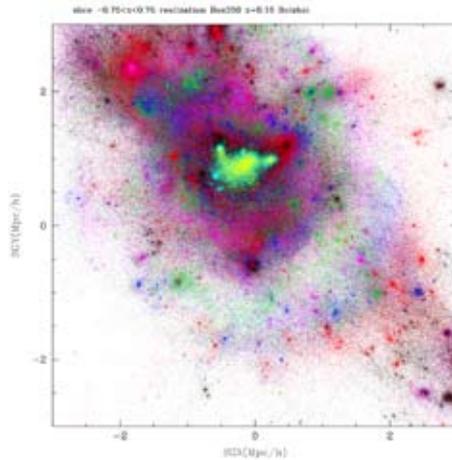


Figura 11. Da hipacc.ucsc.edu/Bolshoi. Particelle di materia oscura in una sezione. Particelle colorate in ragione della loro velocità, una porzione dell'insieme 250Mpc box. Realizzata da Stefan Gottlober (AIP) con IDL.

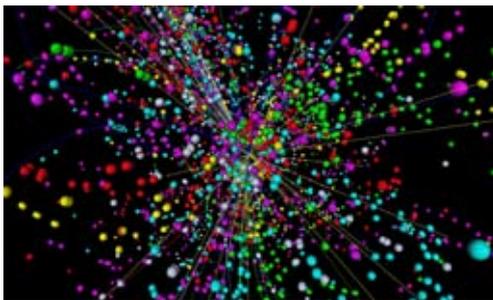


Figura 12. Simulazione di un rilevamento di Hidden Valley Z' che decade in jets nell'esperimento CMS del gennaio 2007, Generato da Matt Strassler con il supporto di Peter Skands. Elaborato da Albert De Roeck, Christophe Saout and Joanna Weng. Visualizzato da Ianna Osborne. (Per gentile concessione del CERN).

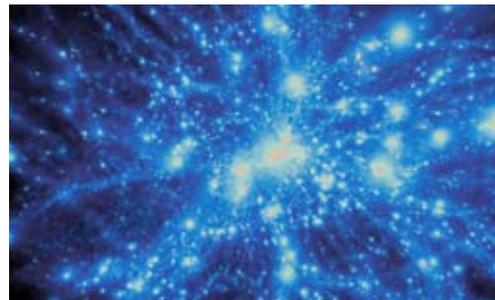


Figura 13. Densità di distribuzione del gas dell'ammasso di galassie più massiccio (Cluster 001) in una resimulation ad alta risoluzione, proiezione xy (Kristin Riebe, PMviewer). Vedi: hipacc.ucsc.edu/Bolshoi.

5. Tre questioni correlate

Prima di avviarci a concludere queste riflessioni, pare doveroso accennare ad almeno tre questioni relative alle ricerche in corso.

5.1 Una concorde aspettativa

In questo tempo d'incertezze, c'è un'aspettativa che accomuna scienziati di indubbia affidabilità operanti sul fronte di diverse esperienze: le ricerche in corso apriranno una nuova era della fisica.

Si trova quel che si cerca è un aforisma che non riguarda soltanto le metodologie d'indagine proprie dell'archeologia. Certamente, non si può scoprire ciò che non si fosse neppure in grado di riconoscere e nondimeno gli scienziati sono consapevoli an-

che di un diverso e paradossale punto di vista, così espresso da Fabiola Gianotti: «Dalle risposte che avremo da LHC capiremo meglio quali domande poter fare».

Nel caso di LHC si è proceduto ricreando le condizioni estreme corrispondenti a stati originari della materia, partendo da tutti gli elementi già noti e incrementando progressivamente le energie di sperimentazione fino a raggiungere la massima intensità possibile per la raccolta dei dati.

Sulla base del Modello Standard si dovrebbe avere riscontro, finora solo teorizzato ma ancora in via di conferma sperimentale, dell'esistenza del bosone di Higgs, essenziale per la comprensione della materia sia nel *micro-* sia nel *macro-*cosmo, e questa particella dovrebbe essere riconoscibile nelle condizioni di LHC.⁷ Le conseguenze per la fisica del Novecento sarebbero rivoluzionarie se tale previsione non trovasse l'atteso riscontro e si rintracciassero, invece, altri fattori fino ad ora poco noti.

L'evidenza storica mostra come le scoperte della scienza, al pari delle intuizioni dell'arte, abbiano posto le basi, ciascuna sul suo versante, dell'immagine della natura che da una data epoca passa a quelle successive. La natura che ci circonda è sempre la medesima, ma la nostra consapevole rappresentazione della sua "forma" è continuamente in evoluzione e con essa lo è anche la nostra identità come osservatori. Di quest'evoluzione l'iconografia scientifica è esplicita fenomenologia. Ai cambiamenti in uno schema rappresentativo che sono indotti da ogni grande scoperta si accompagnano, infatti, cambiamenti nella nostra stessa autocoscienza.

5.2.1 "Big Science"

L'attuale ricerca "di base", grazie al numero degli scienziati coinvolti e all'entità dei finanziamenti, ha strutturato esperimenti – sia nella microscala della fisica delle particelle che nella macroscala delle reti di rilevazioni telescopica – che hanno dimensioni (e costi) finora inconcepibili. La collaborazione scientifica internazionale nella "ricerca di base" ha avuto come obiettivo il potenziamento degli strumenti e delle loro dimensioni, convergendo su alcuni progetti selezionati, ai quali partecipano numerosissimi scienziati di diversa nazionalità. A ciò si è giunti grazie anche ad un particolare intreccio di necessità e contingenze, ma alle condizioni esterne restano sempre affiancate le condizioni interne alla scienza: trasparenza del sapere, rigore metodologico, necessità di garantire la trasmissione, da una generazione all'altra, delle conoscenze acquisite in esperimenti di lunga durata. Né vanno sottovalutati i numerosi *fall-out* tecnologici che le ricerche di base hanno avuto: risultati celermente condivisi dalla società civile (pensiamo alle risonanze magnetiche, al *web*, alla telefonia cellulare) che sono scaturiti da invenzioni inizialmente motivate dalla pura ricerca scientifica.

La generazione di nuovi dati, provenienti da dimensioni del micro-spazio (accele-

7 Nell'imminente 36° convegno internazionale sulla fisica della alte energie (*36th International Conference on High Energy Physics*, ICHEP2012) che si svolgerà a Melbourne, in Australia, 4-11 luglio 2012 verrà fatto il punto sulle ricerche in corso e sulle più recenti evidenze. Per ulteriori informazioni, vedi: <www.ichep2012.com.au>.

ratori e rivelatori di particelle) e del macro-spazio (reti di telescopi sensibili a differenti bande elettromagnetiche), è resa oggi possibile dal monitoraggio remoto degli strumenti di rilevazione e dall'elaborazione digitale delle osservazioni, grazie alle tecnologie informatiche applicate alla fisica, ma paradossalmente la scala dimensionale dell'osservatore è sempre più "lontana" dalla scala dei fenomeni indagati.

5.2.2 Orrori pleni

Oltre all'accuratezza delle rilevazioni e all'immediata condivisione ed elaborazione delle informazioni relative, è da segnalare l'imponente e automatica proliferazione di dati. Ci si trova a considerare tutti i dati come potenzialmente significativi, per poi doverne progressivamente selezionare una percentuale limitata, con il rischio di "perdere" informazioni utili. D'altra parte la raccolta sistematica dei dati e la loro ricomposizione (che si traduce in immagini) non può che essere orientata dai parametri che definiscono un esperimento.

5.2.3. *Forma mentis* o condizioni di natura?

Nuove *famiglie di teorie* che prescindono dalla nostra scala percettiva esplorano condizioni dell'energia in spazi di dimensione $\gg 3$. Le dinamiche di stabilità/instabilità così descritte in formule matematiche si lasciano intendere mediante espressioni il cui senso è affidato a metafore visive: come Jaques Monod osservò ne *Il caso e la necessità*,

Tutti gli uomini di scienza hanno dovuto, io credo, prendere coscienza del fatto che la loro riflessione, ad un livello profondo, non è verbale: è un'esperienza immaginaria, simulata attraverso le forme, le forze, le interazioni che compongono a malapena un'immagine nel senso visivo del termine.

Del resto, già l'iconografia delle cosmologie antiche testimonia il ricorso a intuizioni metaforiche per raffigurare la possibile unità concettuale dell'Alfa e dell'Omega come estremi inscindibili, di fronte alla difficoltà di "dire" la totalità dell'universo. Lungi dal solo farci vedere "meglio" quel che già possiamo vedere, le immagini usate per rappresentare condizioni spaziotemporali e stati morfo/logici della materia del tutto eterogenee da quelle della nostra comune esperienza acquistano un rilievo molto maggiore; ed è difficile distinguere quanto di meta-forico o di meta-fisico, nell'originario senso di ciò che *va oltre* la fisica (nota), ci sia nella sfida rivolta dai recenti dati sperimentali all'intelligenza umana – che oggi è esplorata con analoghe tecnologie di rilevazione dalle neuroscienze.

5.3 Eventi, più che oggetti

Il limite cognitivo si è spostato dall'esperienza sensoriale (a scala umana) al limite del potere computazionale delle reti, ma la capacità intellettuale è richiesta, oltre che nel raccogliere, nell'interpretare i dati, che sono sempre più dati circa *eventi*, piuttosto che dati circa *oggetti*. Questa distinzione, in effetti già colta dall'epistemologia del Novecento, pare essere l'inevitabile conseguenza di indagini su fenomeni al limite stesso della dicibilità.

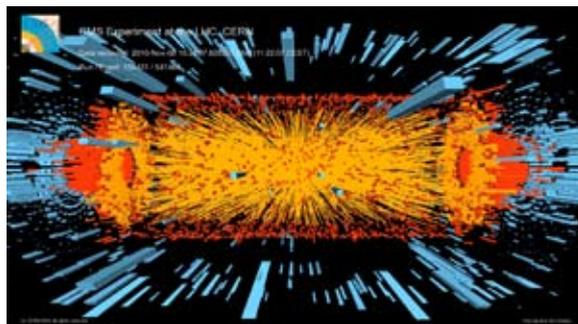


Figura 14. Visualizzazione di eventi di collisione tra ioni pesanti. Esperimento CMS, 8 novembre 2010 (per gentile concessione del CERN); www.interactions.org, press.highenergyphysicsmedia.com/image-library.

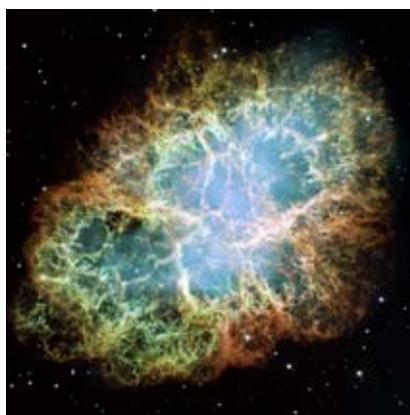


Figura 15. Il 6 gennaio 2011, due brevi impulsi di raggi gamma provenienti dalla Nebulosa del Granchio, precedentemente ritenuta emettere radiazioni a tasso molto costante, sono stati prodotti dalle particelle più energetiche finora riconducibili a un oggetto astronomico. Per gentile concessione: NASA/ESA, www.interactions.org, press.highenergyphysicsmedia.com/image-library.

Particelle “elusive”, “buchi neri”, protoni “sterili”, materia o energia “oscura”: queste denominazioni metaforiche suggeriscono l’attuale condizione, in cui la ricerca si sporge oltre il noto e rintraccia nelle “mancanze” (lacune) dei modelli precedentemente condivisi i sintomi di fenomeni ignoti di cui si presume l’esistenza, ben prima di poterne constatare l’osservazione, per quanto mediata possa essere. Peraltro, questa stessa *ricerca per mancanze* non è affatto una caratteristica nuova della scienza: basti pensare agli elementi “mancanti” nella tavola periodica di Mendeleev.

Questa forma di pensiero “per assenza” ha profonde assonanze con la ricerca artistica ed è stato proprio un fisico come Nicola Cabibbo a notarlo in un’intervista:

La scienza mira a fornire un’immagine del mondo priva di ombre. È vero, ma nel disperdere una ad una le ombre se ne svelano di nuove, cosicché lo scienziato si trova perennemente – e in questo non è differente dal letterato o dall’artista – a vivere *in between*, nella zona di confine tra luce ed ombra. Zona di confine ben rappresentata dai *Concetti Spaziali* di Lucio Fontana, quadri in cui un taglio su una tela bianca suggerisce l’esistenza di un mondo ulteriore i cui dettagli restano da scoprire. Nelle parole del celebre esploratore Giuseppe Tucci “la scienza, sappiamo, è continuo trascolorare del certo nel dubbio, ed

ogni suo avanzamento si misura non dalla luce che esso fa, quanto piuttosto dal maggior rilievo delle zone d'ombra che viene additando".⁸

La tela bianca dell'artista e la messe sterminata di dati dello scienziato esigono il medesimo rigore e la medesima determinazione compositiva per essere affrontate, ma ogni intervento ne dischiude altri e ne preclude altri, relegandoli nel passato o demandandoli a una successiva esplorazione. Le ombre rendono visibili le impalpabili rilevanze che altrimenti sfuggono, lasciando aperto l'interrogativo su che cosa, e quando, ne abbia generato l'impronta.

Nell'ultimo decennio i confini dell'umana ragione sembrano diventati instabili, estendendosi in modo prima inimmaginabile, e in più direzioni. Resta stabilissima la presenza di quella siepe leopardiana «che dell'ultimo orizzonte il guardo esclude».



Figura 16. *La nuova fisica conterrà, approfondirà o ribalterà quanto finora noto sulle particelle? Contenitori in legno sagomato di strumenti scolastici da disegno geometrico. (Portogallo, seconda metà del Novecento.)*

6. “visione” (vision) (*)

Alcune riflessioni di Einstein inquadrano bene la questione:

Che cos'è precisamente il “pensiero”? Quando, sotto lo stimolo di impressioni sensoriali, affiorano alla memoria certe immagini, questo non è ancora “pensiero”. E quando queste immagini formano un insieme di successioni in cui ciascun termine ne richiama un altro, nemmeno questo è ancora “pensiero”. Ma quando una certa immagine ricorre in molte di queste successioni, allora proprio attraverso questa iterazione – essa diventa un elemento ordinatore, poiché collega tra loro successioni che di per sé non sarebbero collegate. Un elemento simile diventa uno strumento, un concetto. Io ritengo che il passaggio dalla libera associazione, o “sogno”, al pensiero sia caratterizzato dalla funzione più o meno dominante che assume in quest'ultimo il “concetto”. Non è affatto necessario che un concetto sia connesso con un segno riproducibile e riconoscibile coi sensi (una parola); ma quando ciò accade, il pensiero diventa comunicabile. (*Autobiografia scientifica*)

8 La citazione è tratta da F. Gábici, Il fisico che mise all'«angolo» i quark, *Avvenire*, 18 agosto 2010.

Per me non c'è dubbio che il nostro pensiero proceda in massima parte senza far uso di segni (parole), e anzi assai spesso inconsapevolmente. Come può accadere, altrimenti, che noi ci meravigliamo di certe esperienze in modo così spontaneo? Questa "meraviglia" si manifesta quando un'esperienza entra in conflitto con un mondo di concetti già sufficientemente stabile in noi. Ogniqualevolta sperimentiamo in modo aspro e intenso un simile conflitto, il nostro mondo intellettuale reagisce in modo decisivo. lo sviluppo di questo mondo intellettuale è in un certo senso una continua fuga dalla "meraviglia". [...] La convinzione che esista un mondo esterno, indipendente dal soggetto che lo percepisce, è la base di tutta la scienza naturale. Poiché, però, la percezione sensoriale ci fornisce solo un'informazione indiretta su questo mondo esterno, o "realtà fisica" noi possiamo, afferrare quest'ultima solo con mezzi speculativi. [...] Ne deriva che le nostre nozioni di realtà fisica non possono mai essere definitive. Noi dobbiamo sempre essere pronti a cambiare queste nozioni – cioè la struttura assiomatica della fisica – per poter considerare i fatti percepiti in modo sempre più perfetto, da un punto di vista logico. (*Come io vedo il mondo*)

L'attenzione alle raffigurazioni impiegate nella scienza può essere motivata anche per cogliere come tali immagini siano conseguenti a una precedente fase di "visione" (*vision*) che non dipende da un processo di percezione ottica del fenomeno esplorato. Piuttosto, la fase di "visione" precede la capacità di comprendere, di razionalizzare e di sintetizzare la molteplicità di fattori e dati *in ragione* di una nuova intuizione interpretativa in grado di rivelare in essi una "forma", [9], [44], [50], [54].

Dunque, tale capacità di "visione" non solo precede ma addirittura rende possibile la percezione, talvolta al punto tale da pregiudicarne la veridicità (si pensi al caso di Schiapparelli, [13], [51]): si presenta come una sorta di domanda in cui il dato oggettivo è atteso come una sorta di risposta.

Le rappresentazioni scientifiche portano alla condivisione concettuale [53] e percettiva di ciò che la mente del ricercatore ha potuto "vedere" in un fenomeno o in un insieme di dati che ha raccolto sperimentalmente, per questa via giungendo a comprenderne la struttura *morfo-logica*. La "visione" di una totalità di oggetti e di ciascun oggetto indagato anticipa e orienta la ricerca sperimentale, fino a precludere la sequenza logica (pur sempre una configurazione) che porta a una *teoria*, e a delineare gli elementi di un modello in rapporto al quale si possa definire un esperimento convalidante la teoria medesima.

Le differenze tra arte e scienza tendono a ridursi se prestiamo maggiore attenzione alle affinità tra i rispettivi percorsi, benché possano apparire notevoli se consideriamo esclusivamente la metodologia, [4], [49].

Di quest'avvicinamento sono esempio e occasione di conferma almeno tre acquisizioni dell'odierna ricerca scientifica.

A. *FUSIONE ALGORITMICA*. Resa possibile dai procedimenti digitali, la fusione algoritmica rende possibile realizzare immagini e oggetti (virtuali?) che simulano *la genesi di forme*

naturali, raggiungendo, grazie alle nuove matematiche e alle inedite potenzialità di calcolo dei computer, modelli verosimili di morfogenesi spontanee e caotiche, configurazioni in precedenza non rappresentabili e ritenute sfuggenti, marginali o parassitiche rispetto a una definizione di arte o di scienza come “ordine” statico o deterministico. Grazie all’integrazione di topologia e tecniche informatiche, la natura si lascia intercettare in dinamiche ri-generabili: diventa una sorta di *neo-natura* che, presentandosi attraverso “artefatti iperrealistici”, può apparire in forma di ibride chimere – configurazioni lasciate in sospeso tra l’intelligenza dello scienziato e la ri-creazione dell’artista. In questo senso, sono da segnalare le nuove opportunità dischiuse dall’incremento di potenza computazionale e modellazione figurativa, e pre-figurativa, di oggetti n-dimensionali, per $n \gg 3$, attuate tramite tecniche digitali (emblematiche le applicazioni nell’ambito della biologia molecolare e nell’ambito delle nanoscienze). A tali opportunità e ai relativi scenari tecnologici sono associate anche problematiche di grande portata etica ed ecologica.

B. *INTROSPEZIONE NEUROSCIENTIFICA*. Le recenti possibilità di visualizzare l’attività del cervello integrano procedure digitali e tecniche di acquisizione – come risonanza magnetica e PET – nell’esplorare le dinamiche funzionali che si collocano tra l’organico e l’imateriale (il “pensiero”). Sta venendo alla luce una profonda contiguità tra ciò che le discipline scientifiche e umanistiche hanno finora presentato come quadri concettuali, e linguistici, nettamente separati. La mappatura delle aree cerebrali si presta a essere interpretata come anche mappatura delle “aree” del pensiero e permette così di rendere “visibile” quanto ritenuto finora “invisibile”, dilatando ulteriormente il sapere-potere della *scienza* fino a far rientrare nell’indagine, come legittimo oggetto di studio scientifico, quelle capacità intuitive e creative finora delegate all’*arte*.

C. *RICOSTRUZIONE PREVISIONALE*. Attraverso algoritmi e reti dotate di capacità di calcolo fino ad ora inimmaginabili (GRID ecc.) sono attualmente disponibili sistemi previsionali di eventi remoti. Ne sono esempio le simulazioni di collisioni tra particelle mediante LHC e le configurazioni nell’universo nel progetto Bolshoj.⁹ È diventato possibile prevedere configurazioni di sistemi di cui possiamo solo ipotizzare le dinamiche, prescindendo dalla descrizione analitica della loro effettiva morfologia. Grazie a tali modelli previsionali lo scienziato può valutare i dati effettivi rilevati come elementi di conferma o di sconfirma delle ipotesi in relazione alle quali un esperimento è stato progettato.

L’artista può qui confrontarsi con raffigurazioni di oggetti/eventi spazio-temporali negati a qualsiasi percezione, ma non per questo meno rappresentativi del reale concreto. Statistica e arti del fantastico s’incontrano attorno a oggetti e rappresentazioni immaginarie, suscettibili di conferma scientifica e quest’incontro permette di addentrarsi nel processo stesso della comprensione dell’umano e del mondo.

Saremo sempre più indotti ad avvicinare le dinamiche della creatività nella scienza e le pro-vocazioni immaginifiche dell’arte. Nell’instabile riflesso, solo apparentemente

9 Vedi <hipacc.ucsc.edu/Bolshoi>.

stagnante, dello specchio d'acqua delle immagini, due inguaribili Narcisi si vedranno l'un l'altro, ritenendo di guardare solo sé stessi, ma restando prodigiosamente *due*, mentre la Natura, pacata o tumultuosa, permane: insiste a lasciarsi osservare.

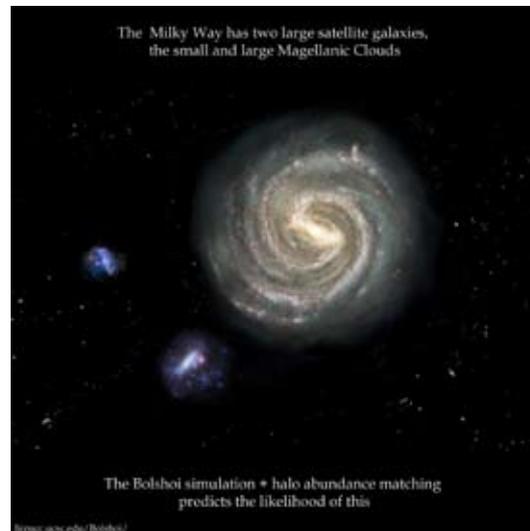


Figura 17. Visualizzazione della materia oscura in 1/1000 della gigantesca simulazione cosmologica Bolshoi, zoomando su una regione centrata sulla alone di materia oscura di un gruppo molto grande di galassie. La Via Lattea dispone di due grandi galassie satellite, le nuvole piccole e grandi Megallaniche. Simulazione Bolshoi combinata con halo abundance. Visualizzato da Chris Henze, NASA Ames Research Center. Credits: collage di Nina McCurdy, inclusa Nick Risinger "Artist's conception of the Milky Way galaxy" (25 June 2009) [source wikipedia], adattato da NASA illustrations e "the NASA images of the Large and Small Magellanic Clouds".

L'artista in realtà rappresenta spesso la parte dell'inventore o dello scopritore scientifico: tutti e tre cercano nuovi rapporti fra l'uomo e il suo mondo. I rapporti scoperti dall'artista sono emotivi invece che pratici o conoscitivi. L'artista creativo non vuol, per un verso, copiare quanto lo circonda, e neppure, dall'altro, mostrarcelo attraverso i suoi occhi. Egli è uno specialista che ci permette di scorgere nella sua opera, come in uno specchio, ciò che per nostro conto non siamo stati capaci di afferrare: la condizione della nostra anima. Egli trova i simboli esteriori per i sentimenti che in realtà ci dominano, ma che in realtà restano per noi soltanto stimoli caotici, e quindi inquietanti ed ossessivi. Questo è il motivo per cui gli artisti ci sono tuttora necessari; nonostante le difficoltà che mettono in pericolo il loro posto nel mondo moderno [23, p. 422].

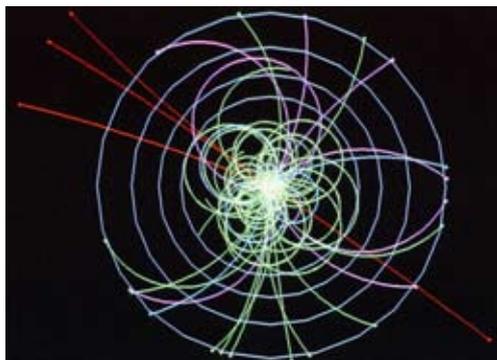


Figura 18. Queste tracce sono un esempio di dati di simulazione di un percorso di decadimento del bosone di Higgs osservato in LHC all'avvio della presa dati nel 2008. Il bosone di Higgs è prodotto nella collisione di due protoni a 14 TeV e decade rapidamente in quattro muoni – un tipo di elettrone pesante che non viene assorbito dal rivelatore. Le tracce dei muoni sono evidenziate in rosso. Le tracce rosse rappresentano 4 muoni.

Marzo 1992 CERN-EX-9203040 tirage 17 (per gentile concessione del CERN).

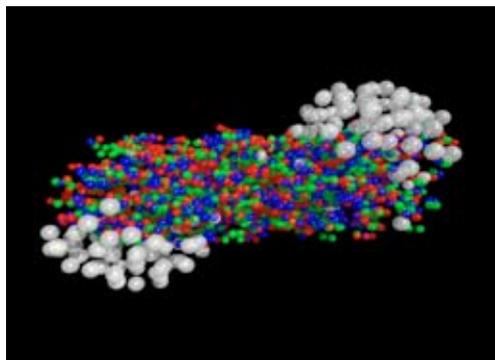


Figura 19. Istantanea di due ioni di piombo immediatamente dopo la collisione (simulazione). Esperimento ALICE CERN-EX-0002010 tirage 01, 2000 (per gentile concessione del CERN).

Ringraziamenti

Romeo Bassoli (I.N.F.N. Press Office Roma), Lanfranco Belloni (Università di Milano), Roberto Casalbuoni (Università di Firenze), Arturo Dell'Acqua (Scuola del Design, Politecnico di Milano), Aldo De Poli (Università di Parma), Franco Fabbri (I.N.F.N, Roma Frascati), Pietro Greco (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA) di Trieste e Fondazione IDIS-Città della Scienza di Napoli), Chiara Meroni (INFN, Milano), Silvano Petrosino (Università Cattolica, Milano), Silvia Piardi, Dipartimento IN.D.A.CO (Politecnico di Milano), Elisa Santinelli (stage Presidenza INFN), CERN Communication Group, Press Office: James Gillies, Renilde Vanden Broeck, Sophie Tesauri, Outreach CMS ATLAS, ALICE, LHC.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anceschi G., *L'oggetto della raffigurazione*, ETAS, Milano 1992.
- [2] Ackerman, J., *Origins, Imitation, and Conventions: Representation in the Visual Arts*. MIT Press, Cambridge (MA) 2001.
- [3] Bairati, C., *La simmetria dinamica: scienza ed arte nell'architettura classica*, Tamburini, Milano, 1952.
- [4] Barrow, J. D., *Le immagini della scienza*, Mondadori, Milano 2009.
- [5] Bertelè F., Olmi A., Salucci A. e Strumia A., *Scienza, analogia, astrazione. Tommaso d'Aquino e le scienze della complessità*, Il Poligrafo, Padova 1999.
- [6] Bersanelli M e Gargantini Mario, *Solo lo stupore conosce. L'avventura della ricerca scientifica*, Rizzoli, Milano 2003.
- [7] Bettettini Gianfranco, *La simulazione visiva: inganno, finzione, poesia, computer graphics*, ETAS Milano, 1991.
- [8] Bohr, Niels, *Atomic physics and human knowledge*, Wiley, New York 1958.
- [9] Boyens Wilhelm F., Mertens Ulrike, *Visionaries and Architects*, Egon Zender International, Düsseldorf 2001.
- [10] Brunetti F., (a cura di) *Gli anelli del sapere. INFN x LHC. Il contributo italiano alla più grande ricerca sulla fisica delle particelle al CERN di Ginevra / The rings of knowledge. INFN x LHC The italian contribution to the world's largest particle physics research project at CERN, Genève*, Abitare Segesta RCS, Milano 2009.
- [11] Brunetti F., Disegno, Immagini e metafore nella comunicazione scientifica, in: *Comunicare fisica e altre scienze*, a cura di F. Longo ed E. Novacco, (pp. 63-64) Frascati Physics Series - Italian Collection – Scienza Aperta, vol. II, Trieste 2007. http://comunicarefisica.ts.infn.it/allegati/CF07_proceedingsLR_REV18062010.pdf
- [12] Brunetti, F., La fisica come progetto. Bellezza, rappresentazione, visione, in [10] pp. 18-37; www.theringsofknowledge.info
- [13] Canadelli, E., "Some Curious Drawings". Mars through Giovanni Schiaparelli's Eyes: between Science and Fiction, *Nuncius*, 2009, 24 (2), pp. 439-464. <hdl.handle.net/10281/9174>.
- [14] Cares, M.-H., Zanartu, N. M., *Image de pensée*, Reunion de Musées Nationaux, Parigi 2011.
- [15] Castellani, E., *Simmetria e natura. Dalle armonie delle figure alle invarianze delle leggi*, Laterza, Roma-Bari 2000.
- [16] Castellani, E., Verità e scienze fisiche, in *La verità. Scienza, filosofia, società*, a cura di S. Borutti e L. Fonnesu, Mulino, Bologna 2005, pp. 13-33.
- [17] Castelfranchi, Y., Pitrelli, N., *Come si comunica la scienza?*, Laterza, Bari 2007.
- [18] Chandrasekhar S., *The Beauty and the Quest for Beauty in Science*, "Physics today", July 1979, pp. 25-30; tr.it.: Chandrasekhar, *Verità e bellezza. Le ragioni dell'estetica nella scienza*, Garzanti, Milano 1990.

- [19] Dirac, P.A.M., The evolution of physicist's picture of nature, *Scientific American*, 208 (1963), n. 5, p. 45-63.
- [20] Foucault, M., *Le parole e le cose. Un'archeologia delle scienze umane*, Il Saggiatore, Milano 1988.
- [21] Galassi, P., *Before Photography: Painting and the Invention of Photography*, Museum of Modern Art – McGraw-Hill, New York 1981.
- [22] Gibson, J., *The ecological approach to visual perception*, Houghton Mifflin, Boston 1979.
- [23] Gideon, S., *Space, time, and architecture: the growth of a new tradition*, Harvard University Press, Cambridge (MA) 1941; trad. it, Id., *Spazio, tempo ed architettura. Lo sviluppo di una nuova tradizione*, Hoepli, Milano 1984.
- [24] Giudice, G. F., *A Zeptospace Odyssey: A Journey into the Physics of the LHC*, Oxford University Press, Oxford 2010.
- [25] Gombrich, E., Hochberg, J., Black, M., *Arte percezione e realtà: come pensiamo le immagini*, Einaudi, Torino 1992.
- [26] Kandinskij, V., *Punto, linea, superficie. Contributo all'analisi degli elementi pittorici*, Adelphi, Milano 1968.
- [27] Kanizsa, G., *Grammatica del vedere: saggi su percezione e gestalt*, Il Mulino, Bologna 1995.
- [28] Kemp, M., *Immagine e verità. Per una storia dei rapporti fra arte e scienza*, Il Saggiatore, Milano 1999.
- [29] Klee, P., *Das bildnische Denken*, Schwabe, Basel 1956.
- [30] Klee, P., *Teoria della forma e della figurazione*, vol. I, Feltrinelli, Milano 1959.
- [31] Klee, P., *Teoria della forma e della figurazione. Storia naturale infinita*, vol. II, Feltrinelli, Milano 1970.
- [32] Kosslyn, S., *Le immagini nella mente. Creare e utilizzare immagini nel cervello*, Giunti, Firenze 1989.
- [33] Kuhn, T., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1969.
- [34] Koyré, A., *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino 1992.
- [35] Lamouche, A., *La théorie harmonique. Le principe de simplicité dans les mathématiques et dans les sciences physiques*, Gauthier-Villars, Parigi 1955.
- [36] Leroy-Gourhan, A., *Le geste et la parole*, Albin Michel, Parigi 1964-1965.
- [37] Maiani L. (a cura di), *Campi, forze e particelle*, Le Scienze, Milano 1991.
- [38] Mandelbrot, B. *La geometria della natura. Sulla teoria dei frattali*, Theoria, Roma-Napoli 1989.
- [39] McAllister, J.W., Truth and beauty in scientific reason, *Synthese* 78 (1989), pp. 25-51.
- [40] Marsonet, M., Visione scientifica e senso comune, in Atti di Pianeta Galileo 2010, Consiglio regionale della Toscana, Firenze 2011, pp. 127-136. www.consiglio.regione.toscana.it/news-ed-eventi/pianeta-galileo/atti/2010/13_marsonet.pdf.

- [41] Massironi, M., *Vedere con il disegno*, Franco Muzzio, Padova 1982.
- [42] Merleau-Ponty, M., Maurice *L'œil et l'esprit*, Gallimard, Parigi 1964.
- [43] Panofsky, E., *Meaning in the Visual Arts*, Garden City, New York 1955-1957.
- [44] Peitgen, H., Richter, P., *La bellezza dei frattali*, Bollati Boringhieri, Torino 1987.
- [45] Piaget, J., in collaborazione con Inhelder, B., e Szemika, A., *La geometria spontanea del bambino*, Giunti e Barbera, Firenze 1976.
- [46] Piaget, J. *La rappresentazione dello spazio nel bambino*, in collaborazione con Inhelder, B., Giunti e Barbera, Firenze 1979.
- [47] Panofsky E., *Galileo critico delle arti*, Cluva, Venezia 1985.
- [48] Peruzzi, A., *La metafora come struttura del pensiero*, Appunti del corso di Filosofia a.a. 2005-2006, Facoltà di Psicologia, Università di Firenze 2006. <http://www.sc-form.unifi.it/docenti/peruzzi/documenti/metaforaperuzzi.pdf>
- [49] Petrosino, S., *Piccola metafisica della luce*, Jaca Book, Milano 2004.
- [50] Prigogine I., Nicolis G., *La complessità. Esplorazioni nei nuovi campi della scienza*, Einaudi, Torino 1991.
- [51] Schiapparelli, V. G., *La vita sul pianeta Marte*, Mimesis, Milano 1998.
- [52] Van Fraassen, B., *The Scientific Image*, Oxford University Press, Oxford 1980.
- [53] van Straten, R., *Introduzione all'iconologia*, Jaca Book, Milano 2002.
- [54] Thom, R. *Stabilità strutturale e morfogenesi. Saggio di una teoria generale dei modelli*, Einaudi, Torino 1980.
- [55] Thomson D'Arcy, *On Growth and Form*, Cambridge (1917); ed. it. parziale, *Crescita e forma*, Torino 1992.
- [56] Unali, M., Sacchi, L., *Architettura e cultura digitale*, Skira, Roma 2003.
- [57] Von Weizsäcker, C., *Die Einheit der Natur*, Hanser, Monaco (Baviera) 1987.
- [58] Weyl, H., *La simmetria*, Feltrinelli, Milano 1975.
- [59] Zecchi, S., Franzini, E., *Storia dell'estetica*, 2 voll., Il Mulino, Bologna 1995.
- [60] Zevi Bruno, *Saper vedere l'architettura. Saggi sull'interpretazione spaziale dell'architettura*, Torino 1989.
- [61] Zucchi L., Image, language and knowledge: iconophobia and iconophilia in the epistemological debate in: *Self-referentiality in epistemology and the social world*, Centre for Advanced Study of Sofia, Sofia 2006; Estratto da: *Reflection*: Riva Publishers, 2008. Sofia (pp. 157-180).

SUGGERIMENTI DI LETTURA

- Arecchi, T., e Arecchi, I., *I simboli e la realtà*, Jaca Book, Milano 1990.
- Artigas, M., Sanguineti, J. J., *Filosofia della natura*, Le Monnier, Firenze 1989.
- Bertola F. et. al. (a cura di), *La bellezza nell'universo*, Il Poligrafo, Padova 1996.
- Cantore, E., *L'uomo scientifico. Il significato umanistico della scienza*, EDB, Bologna 1987.
- Cimoli A. C., Irace F. (a cura di), *La divina proporzione. Riflessioni su saggi inediti del congresso del 1951*, Electa, Milano 2007.
- Cini, M. *Un paradiso perduto. Dall'universo delle leggi naturali al mondo dei processi evolutivi*, Feltrinelli, Milano 1994.
- De Broglie L., Schrödinger E., Heisenberg W., *Onde e particelle in armonia. Alle sorgenti della meccanica quantistica*, Jaca Book, Milano 1991.
- Einstein Albert, *Autobiografia scientifica*, Boringhieri, Torino 1979.
- Feynman, R., *QED. La strana teoria della luce e della materia*, Adelphi, Milano 1989.
- Gregory, L. R., *Occhio e cervello: la psicologia del vedere*, Raffaello Cortina, Milano 1991.
- Golubitsky M., Stewart, *Terribili simmetrie. Dio è un geometra?*, Torino 1995.
- Hofstadter, D., *Gödel, Escher, Bach: un'eterna ghirlanda brillante*, Adelphi, Milano 1984.
- Huntley H.E., *The Divine Proportion. A Study in Mathematical Beauty*, Dover, New York 1970.
- Jacquard, *L'equazione della Ninfea*, Piemme, Casale Monferrato 1999.
- Jammer, M. *Storia del concetto di spazio*, Feltrinelli, Milano 1966.
- Ladriere, J. Presentazione e rappresentazione. Un confronto fra le modalità di significanza dell'arte e della scienza, in *Estetica 1995. Le arti e le scienze*, Il Mulino, Bologna 1996, pp. 41-60.
- Maritain, J., *La filosofia della natura*, Morcelliana, Brescia 1974.
- Mason. R., Morphet, T., Prosalendis, S., *Reading Scientific Images, the iconography of evolution*, Human science research council, Cape Town 2006.
- McAllister, J.W., Dirac and aesthetical evaluation of theories, *Methodology and Science*, 23 (1990), pp. 87-100;
- Mitchell W., *The Reconfigured Eye. Visual Truth in the Post-Photographic Era*, MIT Press, Cambridge (MA) 1997.
- Montù Aldo, *Fi = 1.61803398875... Appunti e annotazioni su Natura e geometria: progressione aurea e forme pentagonali*, Melocchi, Milano 1970.
- Pais, A., *Sottile è il Signore*, Boringhieri, Torino 1986.
- Peitgen, H.O., Richter, P. H. *La bellezza dei frattali*, Bollati Boringhieri, Torino 1987.
- Penrose, R. *Ombre della mente. Alla ricerca della coscienza*, Rizzoli, Milano 1996.
- Poincaré H., *Geometria e caso. Scritti di matematica e fisica*, Boringhieri, Torino 1995.
- Russell, R. Murphy, Peacocke N. A. (a cura di), *Chaos and Complexity. Scientific Perspectives*

- on Divine Action*, LEV and Center for Theology and The Natural Sciences, Città del Vaticano - Berkeley 1995.
- Salam, A., *L'unificazione delle forze fondamentali. Lo sviluppo e gli obiettivi della fisica moderna*, Rizzoli, Milano 1990.
- Sanguineti, J. J. *La filosofia del cosmo in Tommaso d'Aquino*, Ares, Milano 1986.
- Schilpp, P.A. (a cura di), *Albert Einstein scienziato e filosofo*; Boringhieri, Torino 1958.
- Selleri, F., *La casualità impossibile. L'interpretazione realistica della fisica dei quanti*, Jaca Book, Milano 1987.
- Shea William R., *Science and the Visual Image in the Enlightenment* Watson Publishing International LLC, Canton (MA) 2000.
- Sober E., *Simplicity*, Clarendon Press, Oxford 1975;
- Tiezzi, E. *La bellezza e la scienza. Il valore dell'estetica nella conoscenza scientifica*, R. Cortina, Milano 1998;
- Van Fraassen, B. C., *Laws and Symmetry*, Oxford University Press, Oxford 1989.
- Van Fraassen, B. C., *Scientific Representation: Paradoxes of Perspective*, Oxford University Press, New York 2008.
- Von Balthasar H. U., *Gloria. Un'estetica teologica*, vol. I: *La percezione della forma* (1961), Jaca Book, Milano 1985;
- Weisskopf V.F., *Conoscenza e meraviglia. La descrizione umana del mondo della natura*, Zanichelli, Bologna 1966;