

Fisica, logica e musica

I. Linguaggi della scienza e linguaggi della musica

Nella tradizione culturale del Novecento il mondo della scienza e quello della musica sono stati spesso descritti come se appartenessero a due universi *separati*. Ma è davvero così?

Proviamo a confrontare i linguaggi della musica e quelli della scienza, ponendo la domanda: come si codifica l'informazione nel caso delle partiture e nel caso dei linguaggi formali delle teorie scientifiche? La differenza più importante sembra essere la seguente:

- I linguaggi formali delle teorie scientifiche sono fondamentalmente *lineari*: le *espressioni ben formate* sono rappresentate come stringhe uni-dimensionali costituite da simboli dell'alfabeto. Per esempio, nel linguaggio formale dell'aritmetica, la successione di simboli "0+0=0" rappresenta una espressione ben formata (che corrisponde anche a un *teorema* della teoria).
- Le partiture, invece, sono oggetti sintattici fondamentalmente bidimensionali, che hanno nello stesso tempo una componente *orizzontale* e una componente *verticale*. Ogni tentativo di *linearizzare* una partitura condurrebbe a risultati assolutamente anti-intuitivi.

La bidimensionalità caratteristica della notazione musicale è probabilmente connessa, in modo essenziale, con quelle *strutture parallele profonde*, che sembrano avere un ruolo importante nella percezione e nella elaborazione intellettuale delle esperienze musicali. Come tutti sanno, la musica e i discorsi parlati vengono percepiti secondo modalità differenti. Quando più persone parlano simultaneamente, chi ascolta ha spesso una reazione di disagio e di malessere psicologico. Una caratteristica importante della musica è invece il misterioso fenomeno del "piacere polifonico". Pensiamo a quello che succede nel caso di tanti duetti (o terzetti o quartetti) di opere liriche. L'ascoltatore *sente* il risultato polifonico globale, ma nello stesso tempo riesce a percepire come distinte le diverse linee melodiche e a seguire i diversi *pensieri* dei protagonisti in gioco.

Si potrebbero citare molti esempi. Un caso particolarmente significativo è rappresentato da un frammento del celebre duetto della *Traviata*, in cui Germont padre convince Violetta a lasciare Alfredo.

Inizialmente Violetta propone a Germont una sorta di compromesso: “Ah comprendo, dovrò per alcun tempo da Alfredo allontanarmi ...” Questo è quel che dice, attraverso una forma di recitativo. Ma, in realtà, Violetta ha capito benissimo che quello che Germont le chiede è molto più grave: la separazione dovrà essere per sempre.

Musicalmente, i pensieri e l'angoscia della protagonista sono realizzati non dalla linea melodica del suo canto, ma dalle frasi drammatiche e concitate, che sono affidate agli archi. E la “contraddizione” fra quello che Violetta dice e quello che Violetta pensa (e teme) viene espressa da alcuni accordi dissonanti (per esempio, Violetta “dice” un *la* bemolle e “pensa” un *la* naturale). Si tratta di una situazione significativa in cui il parallelismo della musica riesce a riflettere in modo particolarmente efficace quelle strutture parallele che sono caratteristiche dei nostri processi mentali. Potremmo citare a questo proposito una felice metafora del neuroscienziato Antonio Damasco, secondo cui “il cervello umano lavora come una orchestra”.

È possibile (e interessante) rappresentare una partitura musicale come un esempio speciale di linguaggio formale? Le partiture sono, in un certo senso, *formalizzabili*? Questa domanda ammette una risposta positiva, fondata sul concetto di *rappresentazione formale di una partitura musicale*.¹ Intuitivamente possiamo immaginare la struttura formale di una partitura come in insieme di segni scritti su un quaderno a quadretti: ogni riga del quaderno corrisponde a un particolare strumento, mentre ogni colonna descrive suoni che devono essere eseguiti simultaneamente. Ogni *casella* (“quadretto”) del nostro quaderno può essere trattata come un “contenitore” per un *atomo di informazione*. Matematicamente, tutto questo può essere descritto in modo adeguato attraverso particolari configurazioni bidimensionali, che si comportano come *matrici*.

La notazione musicale standard è molto complicata e la lettura di una partitura è una operazione difficilissima per i non professionisti della musica. Non c'è dubbio che il linguaggio della musica sia molto più ricco ed eterogeneo rispetto ai linguaggi formali delle teorie scientifiche. A grandi linee, possiamo identificare almeno le seguenti categorie di espressioni simboliche che hanno un ruolo fondamentale: a) *nomi* per le diverse note, che rappresentano particolari *altezze* di

¹ Per una trattazione tecnica si veda [3].

- possibili suoni (come, per esempio, il *la* del diapason, che corrisponde alla frequenza approssimativa di 440 Hertz);
- b) indicazioni ritmiche (per esempio: 4/4, 6/8 e così via);
- c) nomi per i diversi tipi di pausa;
- d) indicazioni di metronomo;
- e) indicazioni di *tempo* (come *Allegro*, *Adagio*, *Scherzo*, e così via);
- f) indicazioni dinamiche (come *piano*, *forte*, *crescendo*, *espressivo*, e così via);
- g) prescrizioni che riguardano l'emissione del suono (come *legato*, *staccato*, *pizzicato*, e così via);
- h) nomi per i diversi strumenti e i diversi tipi di voce (*violino*, *viola*, *soprano* e così via).

Com'è noto, nella scrittura musicale standard, i nomi delle note vengono indicati usando un tipo di notazione che è fondata sul *pentagramma*, sulla convenzione delle *chiavi* e degli *accidenti in chiave*. In questo contesto, in ogni sua occorrenza, un nome di nota è associato a un certo *valore ritmico* (per esempio, 3/4, 4/4, 6/8). Molte indicazioni vengono date all'inizio di un movimento (per esempio, *Allegro*), o all'inizio di una battuta (come accade per le indicazioni relative al ritmo e agli accidenti in chiave). Naturalmente, tutte le indicazioni date all'inizio si devono pensare come *distribuite* su quello che segue.

Una versione formale di una partitura dovrà render conto di tutti questi elementi di informazione, che potrà eventualmente esprimere anche attraverso convenzioni diverse rispetto a quelle adottate dalla scrittura tradizionale. Per esempio, la notazione pentagrammatica può essere semplificata: si possono adottare tecniche di *aritmetizzazione del linguaggio*, convenendo che i diversi nomi di nota siano rappresentati da numeri particolari.

Macheinteresse può avere cercare di formalizzare i linguaggi musicali? Nel caso delle teorie scientifiche, lo scopo della formalizzazione non è quello di proporre dei linguaggi perfetti, che dovrebbero sostituire i "vecchi linguaggi imprecisi" usati dalla comunità scientifica. In realtà, tutti i linguaggi formali sono sempre pesanti e assolutamente illeggibili, quando non siano accompagnati da opportune regole di traduzione in un linguaggio naturale. Ogni tentativo di sostituire nella pratica musicale una partitura tradizionale con una sua versione formale sarebbe del tutto irragionevole! In entrambi i casi (scienza e musica), lo scopo principale della formalizzazione è un altro: si tratta di mettere a fuoco certe strutture linguistiche profonde, che rappresentano degli

invarianti significativi in una varietà di tipi diversi di espressioni linguistiche e di sistemi notazionali. Identificare gli elementi che hanno un ruolo importante nei nostri processi di codifica dell'informazione costituisce un momento fondamentale per ogni indagine teorica.

2. Musica e meccanica quantistica

E veniamo ai problemi semantici. Come descrivere il tipo di rapporto che sussiste fra una partitura e la classe delle sue interpretazioni (reali o possibili)? E che cosa si intende esattamente per *interpretazione* di una partitura musicale? Si tratta di un concetto critico, molto discusso da musicologi e musicisti, che hanno proposto prospettive e soluzioni diverse. Come si sa, il mondo dei suoni è un mondo tipicamente *relazionale*, che si comporta in maniera molto diversa rispetto al mondo dei colori.

In generale, non è possibile associare un significato preciso a una singola nota o a un singolo suono. In un certo senso, le note singole ci appaiono tutte come *semanticamente equivalenti*. Il significato di una nota, di un accordo o di una frase musicale è sempre determinato dal contesto. Non c'è dubbio che la musica richieda una semantica di tipo *contestuale e olistico*. Ma è possibile affrontare questi problemi con metodi scientifici?

Stranamente, c'è un "aiuto" tecnico, a cui possiamo ricorrere, che viene da un mondo apparentemente molto lontano dalla musica: il mondo dei *microoggetti* (elettroni, fotoni, quarks, ...), che sono indagati dalla meccanica quantistica. Recentemente la teoria dei *computer quantistici* ha suggerito nuove forme di logica, che sono state chiamate *logiche quantistiche computazionali*. In queste logiche, i *significati* delle proposizioni sono identificati con *quantità di informazione quantistica*. Si viene a creare così un formalismo matematico per *una teoria astratta dei significati*, che può essere applicata con successo allo studio di vari fenomeni semantici, dove comportamenti *olistici, contestuali e gestaltici* hanno un ruolo essenziale (dai linguaggi naturali a quelli della musica).

Sia la percezione sia il pensiero umano sono fondamentalmente sintetici. Noi non *vediamo* mai un oggetto analizzandolo punto per punto. Quello che facciamo è invece rappresentarci una *forma* (o *Gestalt*), ossia una *idea globale* dell'oggetto in questione. Il *pensiero gestaltico* non può essere rappresentato adeguatamente nel contesto della logica

classica, la cui semantica è fondamentalmente *analitica e compositiva*: il significato di una espressione *composta* è sempre determinato dai significati delle sue *parti*. Nello stesso tempo, tutti i significati vengono descritti come *precisi e non ambigui*.

Tutto questo fa sì che la semantica classica sia difficilmente applicabile a un'analisi adeguata dei linguaggi naturali e delle opere d'arte, dove aspetti olistici e ambigui sembrano avere un ruolo fondamentale. A questo proposito, si potrebbero fare naturalmente moltissimi esempi. Un caso che ci pare particolarmente significativo è rappresentato dall'ultimo verso della celebre poesia *L'Infinito* di Giacomo Leopardi:

E 'l naufragar m'è dolce in questo mare.

Verso che è stato paragonato alle ultime parole di Isolde nell'opera *Tristan und Isolde* di Wagner:

*ertrinken, versinken, unbewusst, höchste Lust!*²

In Leopardi (ma, in modo simile anche in Wagner), il risultato poetico sembra dipendere essenzialmente dalla relazione semantica seguente: i significati delle espressioni componenti "naufragar", "dolce", "mare" non corrispondono qui ai significati più comuni di queste parole. Fra l'altro non c'è il mare a Recanati (il villaggio natio dove si trova il *Colle dell' Infinito*, cui la poesia si riferisce). Tuttavia questi significati sono in qualche modo presenti e vengono correlati in maniera ambigua con i significati metaforici evocati dall'intera poesia. Si tratta di una situazione semantica tipica, che è molto frequente nelle opere poetiche.

Ora, nella semantica delle logiche quantistiche computazionali, risultano soddisfatte le condizioni seguenti:

- i *significati globali* (che possono corrispondere a una *Gestalt*) sono essenzialmente *vaghi*, in quanto lasciano semanticamente indecise molte proprietà rilevanti degli oggetti studiati;
- ogni significato globale determina alcuni significati parziali, che, in generale, sono più vaghi del significato globale stesso;
- come accade nei fenomeni *gestaltici*, i significati sono oggetti essenzialmente dinamici.

In questo contesto logico, il *significato* di una proposizione viene identificato con una quantità di informazione quantistica: un sistema di *qubit*. Che cos'è un *qubit*? Da un punto di vista intuitivo, un *qubit*

² Naufragare, sprofondare, senza coscienza, piacere supremo!

può essere visto come una variante quantistica della nozione classica di *bit*. Com'è noto, nella teoria classica dell'informazione, un *bit* misura l'informazione che si trasmette (o si riceve), quando si sceglie un elemento da un insieme costituito da due elementi (per esempio, dall'insieme costituito dalla risposta *Sì* e dalla risposta *No*, o dall'insieme costituito dal numero 1 e dal numero 0). Nella teoria dell'informazione quantistica, invece, non è in generale possibile riferirsi a delle risposte precise (come *Sì* e *No*). La risposta tipica è rappresentata da un *forse quantistico*, che può essere descritto come una *sovrapposizione quantistica* della risposta *Sì* e della risposta *No*.

Usando, in maniera non tecnica, la notazione di Dirac, possiamo scrivere la forma generale di un *qubit* come una *sovrapposizione* che ha la forma seguente seguente:

$$| \text{Qubit} \rangle = | \text{No}_a \rangle + | \text{Sì}_b \rangle,$$

dove:

a è un numero (complesso) che determina la probabilità della risposta *No*,

b è un numero (complesso) che determina la probabilità della risposta *Sì*.

I numeri a e b sono di solito chiamati *ampiezze quantistiche*.

Da un punto di vista fisico, un *qubit* può essere visto come lo *stato puro* di una particella singola: un *massimo di informazione* dell'osservatore intorno all'oggetto studiato (anche una ipotetica "mente onnisciente" non potrebbe saperne di più). Un sistema di n *qubit* (chiamato anche *quregistro*) corrisponderà, invece, allo stato di un sistema composto costituito da n particelle. L'idea è che una particella singola (come, per esempio, un elettrone) possa trasportare fisicamente una quantità di informazione rappresentata da un *qubit*. Per trasportare l'informazione immagazzinata da n *qubit* avremo bisogno, naturalmente, di un sistema composto costituito da n particelle.

Un fenomeno quantistico molto intrigante è quello dell'*entanglement*, che rappresenta uno degli aspetti più misteriosi della teoria. Che cosa significa esattamente *entanglement* (termine che in italiano viene talvolta tradotto con le espressioni "intreccio" o anche "ingarbugliamento")? Da un punto di vista intuitivo, le caratteristiche fondamentali di uno *stato entangled* sono così descrivibili:

- lo stato rappresenta un massimo di informazione (uno *stato puro*) che descrive un sistema fisico S , composto da un certo numero di

particelle;

- l'informazione determinata dallo stato sulle parti di S non può essere massimale. Pertanto le parti risultano descritte da stati che corrispondono a informazioni, in generale, ambigue.

I fenomeni di *entanglement* possono essere usati in modo naturale per descrivere, attraverso il formalismo delle logiche quantistiche computazionali, situazioni semantiche tipicamente olistiche. Possiamo riferirci a *stati di conoscenza entangled*, rappresentati da particolari quregistri che corrispondono a significati di proposizioni *molecolari*. Per esempio, consideriamo una congiunzione che abbia la forma:

$$B \text{ e } C.$$

È possibile la situazione semantica seguente:

- il significato della congiunzione $B \text{ e } C$ è un quregistro, che rappresenta una informazione massimale (uno stato puro);
- i significati di entrambe le parti (B, C) sono *entangled* e non possono essere rappresentati da due stati puri (due quregistri).

Si può dire che il significato preciso della congiunzione $B \text{ e } C$ determina due significati ambigui per le parti (B, C), significati che sono rappresentati da *stati non puri*. Dunque, è il significato del tutto che determina i significati della parti, e non viceversa. Infatti (diversamente da quello che accade nel caso della semantica classica), non è possibile “andare all'indietro” e ricostruire il quregistro che rappresenta il significato preciso del tutto a partire dai due significati ambigui delle parti.

È come se il *puzzle*, un volta rotto, non potesse più essere ricomposto nell'immagine originaria! Lo stato (non puro) che costituisce il significato ambiguo di B (di C) può essere visto come il *significato contestuale di B (di C)*, significato che resta determinato dal *contesto globale* (il quregistro che è il significato della congiunzione $B \text{ e } C$).

Proviamo ad applicare questo tipo di analisi semantica alla poesia *L' Infinito*. Potremmo artificialmente scomporre la poesia nelle due proposizioni seguenti:

- B = la poesia *L'Infinito* senza l'ultimo verso
- C = *'l naufragar m' è dolce in questo mare.*

Otteniamo così:

$$L'Infinito = B \text{ e } C.$$

La nostra *semantica olistica* descrive come il significato contestuale dell'ultimo verso C (un significato tipicamente ambiguo) sia

determinato dal significato globale dell'intera poesia.

3. La figura di Mignon in Schubert e in Schumann

Queste idee semantiche sono applicabili, in modo naturale, anche alla musica. Per esemplificare, possiamo riferirci alla forma musicale del *Lied*. Com'è noto, la caratteristica fondamentale della struttura dei *Lieder* è una "coesistenza" fra tre *mondi* distinti: il mondo creato da una *poesia* (che in molti casi è un classico della letteratura, con una sua vita propria indipendente dalla musica), la linea melodica del canto, l'accompagnamento strumentale (la cui complessità può essere, entro certi limiti, indipendente sia dal testo sia dal canto).

Un questione cruciale, che è stata spesso discussa da musicologi e musicisti, riguarda il tipo di relazione che sussiste fra il testo e la musica di un *Lied*. Indubbiamente, ogni realizzazione musicale trasforma il testo originario in un *oggetto semantico globale* completamente nuovo, di cui però quel testo resta una componente importante. Arnold Schönberg ha dichiarato un volta che per capire un *Lied* di Schubert non è necessario capirne il testo. Si tratta di una affermazione che, a prima vista, può apparire paradossale. Ma forse Schönberg voleva riferirsi proprio al *significato musicale complessivo* della forma *Lied*, che in qualche modo *assorbe* e *rinnova* tutti i significati parziali dei testi letterari originari.

C'è un esperimento interessante che è possibile fare: che cosa succede quando una stessa poesia viene musicata da compositori diversi, in tempi diversi? Possiamo riferirci ad alcuni esempi significativi, che rappresentano dei veri classici nella storia del *Lied*: le canzoni di *Mignon* e dell'*Arpista*, dal *Wilhelm Meister* di Goethe, che sono state musicate da vari compositori, fra cui Schubert e Schumann. Consideriamo, per esempio, la celebre poesia "Kennst du das Land" e proviamo a confrontare i due *Lieder* di Schubert (1815) e di Schumann (1849).

Nel romanzo di Goethe, la figura di Mignon è una sorta di enigma: una bambina (chiamata spesso "das Kind"), che è anche una donna appassionatamente innamorata, dominata da un sentimento di perenne nostalgia (*Sehnsucht*) per un passato che ha giurato di non rivelare e che è in realtà non ricorda. In "Kennst du das Land" Mignon cerca di conciliare amore e nostalgia con il desiderio di tornare, insieme con l'amato, nella terra dei suoi vaghi e misteriosi ricordi.

Lied der Mignon

*Kennst du das Land, wo die Zitronen blühn,
im dunklen Laub die Goldorangen glühn,
ein sanfter Wind vom blauen Himmel weht,
die Myrte still und hoch der Lorbeer steht?
Kennst du es wohl?
Dahin, dahin
möcht' ich mit dir, o mein Geliebter ziehn!*

*Kennst du das Haus, auf Säulen ruht sein Dach,
es glänzt der Saal, es schimmert das Gemach,
und Marmorbilder stehen und sehn mich an:
was hat man dir, du armes Kind, getan?
Kennst du es wohl?
Dahin, dahin
möcht' ich mit dir, o mein Beschützer ziehn!*

*Kennst du den Berg und seinen Wolkensteg?
Das Maultier sucht im Nebel seinen Weg,
in Höhlen wohnt der Drachen alte Brut,
es stürzt der Fels und über ihn die Flut:
kennst du ihn wohl?
Dahin! Dahin geht unser Weg; o Vater lass uns ziehn!³*

*3 Conosci la terra, dove fioriscono i limoni, /
le arance dorate splendono fra le foglie scure, /
dal cielo azzurro spira un mite vento, /
quieto sta il mirto e alto l' alloro? /
La conosci tu forse? /
Laggiù, laggiù io /
vorrei andare con te, mio amato! / Conosci la casa? Il tetto posa su colonne, /
risplende la sala, brilla la stanza, /
e statue marmoree mi guardano: /
che cosa ti hanno fatto, povera bambina? /
La conosci tu forse? /
Laggiù, laggiù io /
vorrei andare con te, mio difensore! / Conosci il monte e il suo sentiero fra le nuvole? /
Il mulo cerca la sua strada nella nebbia, / l' antica stirpe dei draghi abita in spelonche, / precipita la rupe
e, sopra, le onde, /
lo conosci tu forse? /
Laggiù, laggiù va la nostra strada: o padre, andiamo!*

I due *Lieder* di Schubert e di Schumann sono profondamente diversi, anche se entrambi esprimono il carattere drammatico e misterioso della figura di Mignon. Nella versione di Schubert è presente un elemento di “consolazione”: per esempio, l'*incipit* suona quasi come una dolce ninna nanna, dove la linea melodica del *Kennst du das Land* ha un tranquillo andamento discendente. Subito dopo, i versi *Ein sanfter Wind ...* sembrano descrivere un'immagine gioiosa, anche attraverso le serene terzine dell' accompagnamento. Il momento del dubbio, dell'ansia arriva solo più tardi con gli accordi dissonanti del *Kennst du es wohl?* In fondo, se conoscessimo solo il *Lied* di Schubert e non avessimo letto il romanzo di Goethe, potremmo pensare che la “storia” di Mignon e di Wilhelm sia compatibile con una sorta di *happy end*. In particolare, il finale, in maggiore, sulla parola *dahin* (ripetuta quattro volte) sembra suggerire uno slancio vitale ottimistico, anche se alcuni elementi dissonanti nell' accompagnamento insinuano un' ombra di dubbio.

Il *Lied* di Schumann è invece completamente dominato da un senso di angoscia, che sembra prefigurare la fine tragica della protagonista. Musicalmente, tutto questo viene espresso attraverso un uso frequente di accordi diminuiti del pianoforte e di dissonanze fra il canto e il pianoforte. Mentre l'*incipit* di Schubert aveva un rassicurante andamento discendente, il *Kennst du das Land* di Schumann (fondato su un intervallo di quarta ascendente) sembra esprimere un ansioso punto interrogativo. Subito dopo, il suo *Ein sanfter Wind ...* non suggerisce immagini tranquille, ma solo una tempesta di sentimenti angosciati. Diversamente da Schubert, Schumann termina non sulla parola *dahin*, ma sul verso *O Vater, lass uns ziehn*, che esprime una dolorosa preghiera. E il finale, affidato al pianoforte, con un semplice intervallo tonica-dominante sembra suggerire di nuovo una idea interrogativa, che rimane sospesa nel vuoto.

Naturalmente sarebbe irragionevole chiedersi: quale *Lied* è più fedele alla poesia di Goethe? In un certo senso, ogni diversa realizzazione musicale *crea* una poesia nuova, che è parte di un *oggetto semantico globale*.

Le caratteristiche olistiche del rapporto musica-testo rappresentano forse una delle ragioni che possono “spiegare” alcuni comportamenti psicologici e cognitivi diffusi fra i cantanti. Per esempio, un cantante che conosca perfettamente a memoria un *Lied* o un' aria d'opera, di solito non riesce facilmente a recitare a memoria il testo separato dalla musica. Ed è assolutamente improbabile che confonda due *Lieder*

diversi solo perché sono fondati sullo stesso testo!

In conclusione, la scoperta di *similitudini strutturali* nella semantica delle teorie fisiche e in quella dei linguaggi artistici sembra interessante dal punto di vista conoscitivo e può contribuire a creare significativi “luoghi di interazione” fra ricerche scientifiche e umanistiche.

Bibliografia

- [1] M. L. Dalla Chiara, R. Giuntini e R. Leporini, “Quantum Computational Logics. A Survey”, in V. Hendricks and J. Malinowski (a cura di), *Trends in Logic. 50 Years of Studia Logica*, Kluwer, 2003, 229–271.
- [2] M. L. Dalla Chiara, R. Giuntini e G. Toraldo di Francia, “Holistic Quantum Computational Semantics and Gestalt-thinking”, in A. Bassi, D. Dürr, T. Weber, N. Zanghì (a cura di), *Quantum Mechanics. Are there quantum jumps? On the present status of quantum mechanics*, AIP, 2006, Melville, New York, 86-100.
- [3] M. L. Dalla Chiara e R. Giuntini, “A formal analysis of musical scores”, *Mathematica Slovaca*, **56** (2006), 591- 609.
- [4] M. L. Dalla Chiara, R. Giuntini e E. Negri , “From quantum to music”, *Advanced Science Letters*, di prossima pubblicazione.

Maria Luisa Dalla Chiara
Università di Firenze

Eleonora Negri
Università di Firenze

Giuliano Toraldo Di Francia
Università di Firenze