





PAOLO CAMIZ

# Fantalezioni di musimatefisica

Un approccio musicale alle scienze esatte

prefazione di Andrea Giansanti

SAGGI

tab edizioni

© 2019 Gruppo editoriale Tab s.r.l.  
Lungotevere degli Anguillara, 11  
00153 Roma  
[www.tabedizioni.it](http://www.tabedizioni.it)

Prima edizione dicembre 2019  
ISBN 978-88-31352-15-4

Stampato da The Factory s.r.l.  
via Tiburtina 912  
00156 Roma  
per conto del Gruppo editoriale Tab s.r.l

È vietata la riproduzione, anche parziale,  
con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la  
fotocopia, senza l'autorizzazione dell'editore.  
Tutti i diritti sono riservati.

# Indice

- p. 9 Prefazione di Andrea Giansanti

## *Prima parte*

- 15 Introduzione alla prima parte  
17 Prima giornata  
20 Seconda giornata  
23 Terza giornata  
26 Quarta giornata  
32 Quinta giornata  
37 Sesta giornata  
40 Settima giornata  
44 Ottava giornata  
47 Nona giornata  
54 Decima giornata  
58 Undicesima giornata  
60 Dodicesima giornata  
62 Tredicesima giornata  
67 Quattordicesima giornata  
72 Quindicesima giornata  
77 Sedicesima giornata  
81 Diciassettesima giornata  
85 Diciottesima giornata  
89 Diciannovesima giornata  
92 Ventesima giornata

- p. 101 Ventunesima giornata  
107 Ventiduesima giornata  
111 Ventitreesima giornata  
115 Ventiquattresima giornata  
119 Epilogo

*Seconda parte*

- 123 Introduzione alla seconda parte  
125 L'oscillatore armonico  
129 La corda  
142 La membrana  
150 Sbarre e lamine  
155 Onde di pressione in un gas  
164 La voce  
168 L'udito  
177 L'orecchio logaritmico  
183 L'ascolto simultaneo di due suoni (battimenti e terzo suono)  
193 I temperamenti  
200 Permutazioni (ars combinatoria)  
204 Conclusione

*Dedicato alla memoria di mio padre Vito,  
ingegnere e violinista, che mi ha iniziato  
alla musica e alla matematica*





## Prefazione\*

Ammiro molto Paolo Camiz, fin da quando arrivai a Roma per studiare fisica, nei primi anni Settanta. Il nome Paolo Camiz devo averlo letto per la prima volta su una dispensa di algebra astratta. Una disciplina forse un po' *fanée* oggi giorno agli occhi dei giovani fisici; ma allora di grande charme nel mondo teorico, non ancora unificato dalla rinormalizzabilità delle teorie di gauge e dallo "Standard Model". Lo studio che Paolo ha occupato per diversi anni nell'elegante edificio di Giuseppe Pagano alla Sapienza si trova in un'ala detta il corridoio dei teorici; al tempo la comunità ivi alloggiata era dominata in statura dalle slanciate figure di Paolo e di Maurizio Lusignoli. Mi avventuravo con un senso di reverenza in quella zona, occupata da studiosi che consideravo, candido boy-scout venuto dalla provincia, maestri non solo di scienza (una scienza fatta per lo più – va detto – in jeans, chiome al vento e tendenze radicali) ma anche di stile, di raffinato e superiore pensiero formale. Nello *spirito* – appunto – di quei tempi: assiomatici, analitici, strutturalisti, marxistissimi e un po' snob. Quando poi Paolo mi si rivelò per il musicista vitale, scanzonato, rigoroso e versatile che è, l'ammirazione divenne quasi superluminale.

Un po' più tardi, per l'esame di laboratorio, incontrai un'altra figura importante per i miei anni di formazione, dalle creative e

\* ovvero *Di corde (stringhe), particelle, numerilog, gatto di Socrate e – sempre – musica (tra Lucio Russo e Hans Magnus Enzensberger)*.

spicce maniere di sperimentale costruttore di strumenti. Andrea Frova<sup>1</sup>, che voglio qui ricordare, parlando di fisica e musica.

A un certo momento Paolo Camiz assume tra noi il ruolo pubblico di maestro nella variante più autorevole: il maestro del coro<sup>2</sup>. E il Coro di fisica è stato per diversi anni una presenza calorosa e sonora nei nostri spazi universitari, unendo le polifonie di generazioni di studenti di fisica, appassionati al canto.

Poi, come in un climax, l'amicizia e la collaborazione di Paolo Camiz e Andrea Frova hanno prodotto una esperienza didattica di grande livello. I due maestri decisero di riesumare il titolo del corso di acustica musicale, presente nell'ordinamento degli insegnamenti e che taceva, forse dai tempi in cui l'Istituto Fisico della Regia Università di Roma era sede dell'Ufficio del corista normale<sup>3</sup>. Il corso molto originale da loro re-inventato ha lasciato un segno su diverse leve di giovani studiosi di fisica e musicisti. Echi di quella stagione è possibile ancora ascoltare il lunedì sera, nei pressi della sala prove MuSa<sup>4</sup>, palazzo del rettorato, dove Paolo usando diapason, pianoforte e potente voce di basso continua ad istruire le nuove generazioni di studenti-cantanti della Sapienza, che raccolgono l'eredità degli ottimi livelli di interpretazione e filologia del Coro di fisica. Questo libro, di quel lavoro di professore-artista (o di artista-professore?) è l'esito narrativo e la traccia sapiente e sapida.

La prima parte (in ventiquattro giornate, un po' più di due decameroni) è un'evaporazione postmoderna di dialogo leopardiano<sup>5</sup>. E quindi, scienza narrata in dimostrazioni e sensate

1. Andrea, fisico dello stato solido di valore, è stato professore di fisica generale per molti anni. Ha pubblicato libri di successo: narrativa, scienza e musica. E un bellissimo trattato: *Fisica nella musica*, Zanichelli, Bologna 1999. Unico nel suo genere e apprezzato anche dai musicisti.

2. Cfr. A. Schönberg, *Manuale di Armonia*, Il Saggiatore, Milano 1963. Prefazione, si veda il riferimento ai «professori di canto».

3. Si veda ad esempio <https://www.phys.uniroma1.it/DipWeb/museo/uccu.htm>. Questa remota funzione spiega la presenza, nella biblioteca del nostro dipartimento, di una notevolissima collezione di trattati di musica e di teoria musicale, tra ottocento e novecento, risalente ai tempi di Pietro Blaserna.

4. Si veda <https://web.uniroma1.it/musa/>.

5. Diciamo, i pilastri della prosa scientifica in lingua italiana sono: Galilei, Leopardi e Fermi (una cosa del genere deve averla detta Italo Calvino in *Una pietra sopra*).

esperienze, mentali e pratiche (collocabile forse tra Lucio Russo<sup>6</sup> e Hans Magnus Enzensberger<sup>7</sup>). Testi che agganciano per il ritmo da sceneggiatura di fiction televisiva (la splendida Cleo, e il Maestro; Alfio e Basilio, nomi evocativi); che, sotto-sotto, rimescolano le carte della fisica e fanno sottilmente emergere la possibilità che parlando “in greco” della vecchia acustica si possa parlare di tutta la fisica (tra corde pitagoriche e stringhe). Magari imbarcando disinvolatamente per via un gatto socratico-quantistico (che entra in scena in quattordicesima giornata, non privo di ambiguità à la *Bulgakov*) e parallelismi non-euclidei, in spazi non piatti (quindicesima giornata). Si evoca anche il principio costruttivo di un calcolatore *d'antan* (che alcuni di noi ancora usano: un po' per vezzo o per segreto esercizio con ordini di grandezza) atto a fare moltiplicazioni e divisioni per mezzo di addizioni e sottrazioni di segmenti tarati in lognumeri (quarta giornata e seguenti). Testi che nelle mani di bravi insegnanti potrebbero diventare teatro didattico: fisica da mettere in scena a scuola (... la chiamiamo “terza-missione”).

La seconda parte è un compendio denso, con teoremi nascosti, capace di intrigare il professionista non cinico e il curioso entusiasta. Qui Paolo Camiz raggiunge livelli di finezza da trattatista del Cinquecento. Gemme di fisica e di matematica narrata in una prosa fine, piana, elegante. Che invita e un po' sfida il lettore allo studio, con carta e matita e regolo (magari usando anche la calcolatrice del telefonino, se abbiamo bisogno di aggiungere cifre al calcolo dei cent).

Resta aperta la questione se la conoscenza della teoria musicale e della fisica siano di una qualche utilità per l'estetica e per la comprensione dell'arte della musica. Molto elegante il riserbo su questo problema sottile (quasi à la *Mersenne*: fin qui

Questo libro appartiene a questa tradizione. E speriamo che possa essere tradotto in altre lingue.

6. Lucio Russo, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*. Feltrinelli, Milano 2013.

7. Hans Magnus Enzensberger, *Il mago dei numeri*. Einaudi, Torino 1997.

arriva la fisica, il resto è psicologia; cultura – ventitreesima e ventiquattresima giornate).

Da poco abbiamo celebrato il cinquecentenario della nascita di Zarlino, autore oggi francamente quasi illeggibile. Ai suoi tempi una potenza, possessore di più di mille libri, autore di trattati staliniano-francescani sulla matematicità obbligatoria della buona musica. Roba impossibile. Molto più affini sento le risonanze galileiane che emergono da molte pagine di questo libro. Galileiane, nel senso di Vincenzo Galilei (il padre, di cui l'anno prossimo ricorre il cinquecentenario); autore di una famosa polemica col maestro Zarlino in cui le ragioni della storia musicale forse prevalgono su quelle della teoria. Ecco, questo libro mi fa pensare alla possibilità di una rinata Camerata de' Bardi. Per una musica in cui il ritmo, il timbro, il canto; le parole e le ragioni dei numeri continuano a mescolarsi in un impasto che è storia. Di cui si è, a vari livelli e con diversi talenti, narratori dimostratori e suonatori. E – vivaddio – fruitori.

Questo è un bel libro; da gente cool; che spero abbia una bassissima volatilità. Che stia sugli scaffali delle librerie come-uno-dei-libri-di-Frova. E con questo augurio che riunisce nella stima e nell'ammirazione i due amici-maestri, come in cadenza concludo.

Andrea Giansanti  
docente di biofisica computazionale  
presso il Dipartimento di fisica  
della Sapienza di Roma

## Prima parte

### *Personaggi*

il sedicente Maestro Melanzio (M) di scuola tardo-pitagorica  
Alfio (A), il primo discepolo  
Basilio (B), il secondo discepolo  
Cleo (C), in arrivo da Alessandria.

### *Luogo*

da qualche parte in Grecia, probabilmente ad Atene.

### *Tempo*

duemila anni fa, anno più anno meno.



## Introduzione alla prima parte

Sono sempre stato convinto del profondo legame esistente tra la musica e le scienze esatte, anche da un punto di vista didattico: negli anni Ottanta, avendo ricevuto l'incarico di tenere un corso di materie scientifiche musicalmente orientate presso il Conservatorio di Santa Cecilia a Roma (l'assurdità del titolo deriva da un conflitto semantico tra i proponenti del corso e le autorità scolastiche) ho deciso di sfruttare le conoscenze musicali degli allievi per proporre loro le nozioni di base di matematica e di fisica; il corso sopravvisse per tre anni, nonostante le grottesche difficoltà burocratiche, con soddisfazione degli allievi che ancora lo ricordano con piacere. Durante il primo decennio del 2000 invece ho tenuto presso il corso di laurea in fisica dell'Università La Sapienza di Roma un corso di acustica musicale, in collaborazione con i colleghi Maurizio Bonori e Andrea Frova; il mio contributo è consistito nello studio degli aspetti matematici e fisici del linguaggio musicale e delle equazioni differenziali che sono alla base del funzionamento degli strumenti musicali. Numerose sono state in quel periodo le tesi di laurea da noi assegnate agli studenti.

Basandomi su queste esperienze mi sono reso conto che la pratica musicale può offrire numerosi strumenti per l'insegnamento della matematica e della fisica e per dimostrarlo ho ideato queste "fantalezioni" in cui il maestro e gli allievi di una scuola pitagorica ateniese di duemila anni fa, sfruttando le conoscenze scientifiche e musicali di allora e gli strumenti della sperimentazione e della lo-

gica, fanno scoperte e realizzano invenzioni che hanno avuto luogo solo molti secoli dopo.

Per rendere la lettura più agevole ho dovuto introdurre alcune forzature: per gli antichi Greci le scale musicali erano discendenti e i suoni acuti erano bassi mentre quelli gravi erano alti, e erano indicati con le lettere dell'alfabeto ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ...), ma io ho usato il linguaggio attuale; ho mantenuti i termini greci per l'ottava (diapason), la quinta (diapente) e la quarta (diatessarón), ma quando è stato necessario ho utilizzato i moderni nomi delle note (*do, re, mi*...); per rappresentare i numeri mi sono servito spesso delle parole (uno, due, tre, un mezzo, un terzo, ecc...), ma altre volte ho utilizzato la forma decimale o frazionaria, per evitare la notazione letterale greca: questa era sì decimale, ma non posizionale, per cui le prime nove lettere dell'alfabeto rappresentavano i numeri da uno a nove, le successive i numeri da dieci a novanta e così via.

Si tratta di un lavoro di fantasia, ma ho cercato, nei limiti del possibile, di attribuire ai protagonisti di questa vicenda le conoscenze che erano a loro disposizione in quel periodo, non di più e non di meno, per evitare di far loro scoprire l'acqua calda, ma soprattutto ho voluto mettere in evidenza, in alcuni di loro, la curiosità, lo spirito di osservazione e lo spirito critico.

Ho anche inserito, qua e là, alcune provocazioni che spero facciano sorridere il lettore (per rinfrancare lo spirito tra un enigma e l'altro), e alcune allusioni a situazioni attuali, tutt'altro che casuali.



## Prima giornata

**M:** Buongiorno miei cari. Benvenuti in questa prestigiosa scuola pitagorica, dove il numero è fonte di ogni sapere e la musica è il mezzo attraverso il quale si può attingere alla sapienza. Oggi vi inizierò allo studio del monocordo<sup>1</sup>, lo strumento inventato da Pitagora che permette di collegare la magia dei numeri con la vera musica, e di accordare in modo corretto la vostra cetra. Come vedete il monocordo è costituito da una unica corda, tesa fra due perni infissi in una tavola di legno. La sua lunghezza è di un cubito (ca. 50 cm). Sulla tavola di legno vedete delle incisioni, poste in corrispondenza di precise frazioni della lunghezza della corda. Un ponticello scorrevole su cui poggia la corda può essere posto in corrispondenza di ognuna di queste incisioni, in modo che la corda venga divisa in due parti ognuna delle quali può essere suonata separatamente. Ascoltate ora il suono prodotto dalla corda in assenza del ponticello. (figura 1)

**A:** È un suono molto debole! ( $do_4$ ).

**M:** Ancor più debole sarebbe se non ci fosse la tavola di legno che rende più robusto il suono. Perciò ascoltate con attenzione. Ora colloco il ponticello nella posizione in cui la corda è divisa in due parti uguali e la pizzico, prima da una parte, poi dall'altra. Che cosa sentite?

**B:** Due volte lo stesso suono, che è proprio un diapason (ottava) più acuto di quello di prima ( $do_5$ ).

1. L'invenzione del monocordo viene attribuita a Pitagora (VI secolo a.C.) ma probabilmente è anteriore.

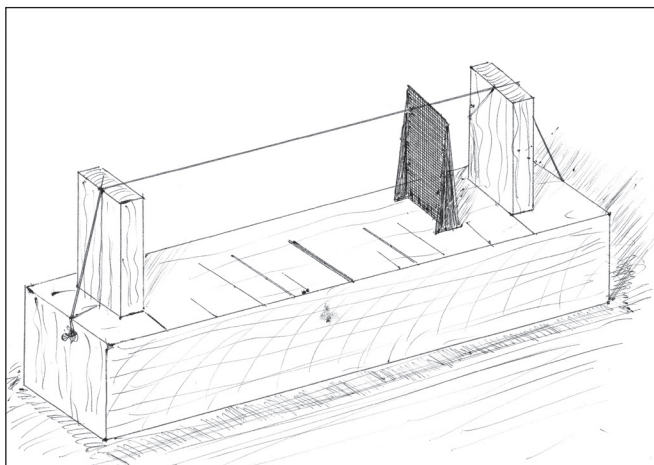


Figura 1. *Il monocordo con le divisione della corda in 2, 3, 4, 8 parti.*

**M:** Ora colloco il ponticello a un terzo della lunghezza della corda, cosicché da una parte ho un terzo, dall'altra due terzi, e li pizzico come prima: che cosa ascoltate?

**A+B:** Due suoni a un diapason di distanza tra loro, ciascuno una diapente (quinta) sopra i suoni della corda intera e di quella divisa a metà ( $sol_4$  e  $sol_5$ ).

**M:** Bene! Avete visto come la magia dei numeri due e tre si sia introdotta negli intervalli fondamentali di diapason e di diapente. Ora colloco il ponticello a un quarto della lunghezza, in modo che l'altra parte sia tre quarti della lunghezza. Ascoltiamo i suoni.

**A:** Questo è più difficile. Mi sembra di sentire due suoni diversi, molto distanti.

**B:** Quello più acuto è un altro diapason sopra quello iniziale ( $do_5$ ), mentre l'altro si trova solo un diatessarone (quarta) sopra ( $fa_4$ ).

**M:** Molto bene! Questa è la base di tutta la musica, perché procedendo in questo modo possiamo costruire la scala.

**A+B:** In che modo?

**M:** Applicando più volte lo stesso procedimento: dividendo due volte la corda per  $2/3$  otteniamo  $4/9$  della sua lunghezza e suo-