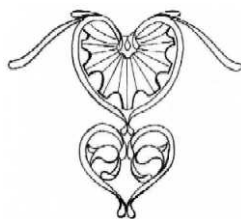


## INDICE

CAPITOLO	Pagina
<b>1 Il mondo è fatto di macchie colorate che si muovono - o possiamo capirne i meccanismi?</b>	<b>7</b>
<b>2 Ogni tipo di equazione descrive un fenomeno naturale, o no? Ogni fenomeno naturale può essere descritto in termini matematici?</b>	<b>13</b>
L'universo è isomorfo con la matematica pura?	15
<b>3 Scienza e tecnica</b>	<b>17</b>
Come facciamo a costruire teorie scientifiche vere?	20
Che cosa vuol dire “falsificare” una teoria?	22
Che differenza c'è fra invenzione e scoperta? E la realità fisica esiste davvero?	22
<b>4 Come si misura la realtà con i numeri. Pesi e forze ferme</b>	<b>25</b>
Differenza fra massa e peso	29
Multipli e sottomultipli	30
Le forze ferme	31
La resistenza dei materiali	34
Le forze ferme che tendono a far ruotare gli oggetti	38
L'uso tecnico di parole usuali	42
La precisione nell'esprimere i numeri	44
<b>5 Come si muovono i corpi che si muovono</b>	<b>47</b>
Aristotele sbagliava: le forze sono proporzionali alle accelerazioni	56
Esperimento con un pendolo	59
La quantità di moto	63
Corpi che girano (motori, ruote, volani): energia immagazzinata momento d'inerzia (con una storiella da tecnici)	64
Come si dimostra che $a = V^2/R = \omega^2 R$	70
La legge di gravitazione universale di Newton: altro che la mela!	71
Le condizioni iniziali e la mente superiore di Laplace	75
La composizione dei moti	76
<b>6 Lavoro, energia, potenza</b>	<b>83</b>
Il Primo Principio della Termodinamica lo sai già - e ora puoi calcolare i numeri relativi	83
Il Primo Principio della Termodinamica: enunciato	90
Che cosa non sai più della tua auto e che cosa sai calcolare di ogni possibile auto	90
Come si calcolano potenza, coppia, accelerazione, energia e	

resistenze passive in un'auto	92
<b>7 I fluidi: pressione e velocità dei liquidi e dei gas</b>	<b>99</b>
Un problemino che i fisici giovani non capiscono (quelli vecchi, magari, ti bastonano) e come calcolare quanto è alta l'atmosfera	99
DIGRESSIONE SULLE PRESSIONI E I VOLUMI DEI GAS	102
La pressione e i fluidi (Omnia munda mundis)	106
Le tre forme di energia dei fluidi	111
<b>8 Il Secondo Principio della Termodinamica</b>	<b>115</b>
1832: anno funesto	115
Perchè si chiamano principi	116
Il secondo principio della termodinamica	116
Entropia	123
Le pompe di calore - e i frigoriferi	127
L'entropia e l'informazione	129
<b>9 Elettricità</b>	<b>133</b>
Circuiti elettrici che contengono resistenze	135
Come si accumula l'energia	146
Campi elettrici e magnetici	147
Il campo elettrostatico nell'atmosfera	149
Lo spettro elettromagnetico	151
I circuiti elettrici e le loro impedenze	152
Elettronica	157
<b>10 Energia e società</b>	<b>159</b>
<b>11 La luce e la sua lunghezza d'onda</b>	<b>177</b>
Come gli antichi avrebbero potuto calcolare la lunghezza d'onda della luce (misurando solo lunghezze)	185
Come si propaga la luce (principio di Fermat)	187
<b>12 Relatività</b>	<b>191</b>
La composizione relativistica dei moti	191
Come scorre il tempo alle altissime velocità	195
La massa relativistica (perchè la velocità della luce è irraggiungibile)	197
La contrazione dei corpi veloci	198
Lo spazio-tempo e la sua curvatura	199
$E = m c^2$	201
La fisica ebraica	203
<b>13 Elettrodinamica quantistica</b>	<b>205</b>
Pronti a essere illogici?	207
Elettrodinamica quantistica	214

Moto di elettroni ed emissione di fotoni	214
Fisica e numerologia?	219
<b>14 Le superstringhe</b>	<b>221</b>
<b>15 Materia oscura ed energia oscura</b>	<b>225</b>
<b>16 La rivoluzione Pietroneriana - ovvero la scoperta dei frattali cosmici</b>	<b>229</b>
<b>17 Una nuova scienza?</b>	<b>243</b>
<b>18 Parafisica, parapsicologia e iperpsicologia</b>	<b>253</b>
<b>19 I fenomeni socio-economici si possono spiegare come quelli fisici? (Gli usi perversi della matematica)</b>	<b>259</b>
<b>Tabella delle unità di misura</b>	<b>269</b>
<b>Indice dei nomi</b>	<b>271</b>



## CAPITOLO 1

### **Il mondo e' fatto di macchie colorate che si muovono a caso - o possiamo capirne i meccanismi?**

La terra cominciò a tremare nel villaggio tolteco di Tepoztlan. Nella piccola casa i bambini corsero ad abbracciare il padre. Tremavano e gli chiesero:

"Padre, che cosa è questo? Un uragano come già ci è successo?"

Il padre li strinse a se. "No, figli. L'uragano è il gigante Hurican, che batte uno solo dei suoi grandi piedi. Questo è il gigante Barbican, che batte tutti e due i suoi grandi piedi. È il terremoto. Muove la terra intera e fa cadere le case e le montagne. Contro di lui non possiamo fare niente. Anche se fuggiamo, potrebbe aprire la terra davanti ai nostri piedi. Stendiamoci a terra e speriamo di non morire."

Restarono così fermi per ore. Il terremoto li risparmiò, ma restarono con la paura del gigante e non avevano nessuna nozione degli strati geologici profondi che si assestavano e scorrevano gli uni sugli altri.

I popoli primitivi vivevano tutti i fenomeni naturali intorno a loro come causati da divinità o da mostri. Anche i greci, alcuni dei quali fondarono la scienza, parlavano del sole come del carro di fuoco del dio Apollo. Consideravano i fulmini come strali di Giove e vedevano nell'arcobaleno la scia di Iride, messaggera degli dei. Non avevano idea dei meccanismi regolari che spiegano e permettono di prevedere i processi naturali.

Perfino Archimede che scoprì le leggi della statica e dell'idrostatica e intuì il calcolo infinitesimale, non sapeva come e perchè si muovessero i corpi pesanti. Perfino Aristotele, che fondò la logica, credeva che le velocità assunte dai corpi fossero proporzionali alle forze applicate ad essi. Solo due millenni più tardi Isaac Newton capì davvero come andavano le cose. Da allora sono passati altri tre secoli, ma la maggioranza della popolazione anche nei paesi più avanzati continua a non sapere quasi niente su come funzionano i fenomeni naturali, nè quelli artificiali inventati dall'uomo.

Sono restati a livelli primitivi non solo quelli che sono andati poco a scuola. Ci sono restati anche molti di quelli che hanno conseguito lauree o diplomi - certo soprattutto in specialità non tecniche. Sanno pochissimo sui meccanismi naturali - e non se ne vergognano.

Gli scienziati capiscono e divulgano conoscenza fin dagli albori della civiltà. Eppure milioni di americani ed europei ignorano concetti insegnati

da secoli in tutte le scuole. Lo dimostra uno studio della National Science Foundation americana. Ogni anno pone a 2000 persone scelte a caso 25 domande sulla conoscenza del mondo e del metodo scientifico. Fra queste: Il centro della terra sta a temperatura altissima? Il latte radioattivo è innocuo se viene bollito? Il laser focalizza onde sonore? L'aria scaldata sale? La velocità della luce è maggiore di quella del suono? Le centrali nucleari sono radioattive, ma esiste anche una radioattività naturale? Il sole gira intorno alla terra o la terra intorno al sole?

Ora questo sondaggio è stato fatto anche in Europa. I livelli europeo e americano differiscono poco: sono bassi. Nel 2002 solo il 49% degli americani (e il 67% degli europei) sapeva che la terra gira intorno al sole in un anno (gli altri pensano che il sole giri intorno alla terra o che la terra percorra la sua orbita in un giorno). Il 43% degli americani sa che il laser concentra luce, non suoni, ma gli europei bene informati su questa tecnologia sono solo il 35%. Il 46% degli americani (e solo il 23% degli europei) sa che gli elettroni sono più piccoli degli atomi. Il 30% degli americani e più della metà degli europei, crede che non esista la radioattività naturale (e sbaglia). Modesta assai la cultura dei Paesi avanzati.

In Italia queste analisi non si fanno ancora. C'è da attendersi il peggior dato che da noi si identifica spesso la cultura con spettacoli-più-musei.

Già quaranta anni fa l'inglese C.P. Snow - fisico e romanziere - scrisse un libretto: *Le due culture*. Lamentava anche lui quanto fossero ignoranti di scienza anche gli intellettuali umanisti. È famosa la sua battuta: "Secondo i più chi non ha letto Shakespeare, è un ignorante, invece, chi non sa che cosa sia il secondo principio della termodinamica, è uno che non ha tempo di occuparsi di dettagli tecnici, nè dei trucchetti degli sperimentatori."

E così la maggioranza della popolazione nei paesi avanzati, usa apparecchi elettrici ed elettronici, ogni tanto prende la scossa, ma si limita a sapere, tutto al più, che i due (o tre) fili che portano corrente a una lampada o al televisore devono stare isolati gli uni dagli altri. Se si toccano - rame contro rame, senza isolante - "salta tutto". Cioè manca l'elettricità - ma non sanno bene perchè.

Questo triste stato di cose dipende dalla pigrizia umana - fomentata dalla mancanza di esempi, dalla difficoltà per chi vuole imparare di trovare facili occasioni, dalla mancanza di una tradizione di cultura scientifica. In Italia, una parte della responsabilità va accollata alla cultura idealistica crociana. Benedetto Croce affermò perfino che matematica e scienza non accrescono il nostro sapere perchè conducono solo a formare pseudoconcetti e non costituiscono una realtà razionalizzabile, ma solo utile a fini pratici. E scrisse:

"Le finzioni delle scienze naturali e matematiche postulano di necessità l'idea di un'idea che non sia finta. La logica, come scienza del conoscere, non può essere nel suo oggetto proprio, scienza di finzioni e di nomi, ma scienza della scienza vera e perciò del concetto filosofico e quindi filosofia della filosofia." - frase roboante, ma priva di significato.

È curioso: il figlio di Giovanni Gentile (l'altro filosofo idealista - quello fascista) era un buon fisico teorico. Una volta il padre presentò Giovanni Gentile, jr. a Croce il quale chiese:

"Di che si occupa il giovanotto?"

Il padre rispose: "È fisico teorico."

E Croce commentò: "Ah, un tecnico, dunque. Bene, bene." - dimostrando così di non conoscere nemmeno la differenza fra scienza e tecnica, che è una delle cose che cercherò di spiegare in questo libro.

Cercherò di spiegare anche altre cose: non certo tutta la fisica - ci vuole altro, e non ne so abbastanza! Chi voglia imparare la fisica a livelli più avanzati dovrà studiare libri scritti da fisici veri: testi liceali o universitari. Io consiglio "La Fisica di Feynman" (testo a fronte inglese e italiano, Intereuropean Editions, 1975): sono lezioni tenute dal premio Nobel Richard P. Feynman al California Institute of Technology. Non sono facili, ma sono molto illuminanti.

Capire la fisica non è cosa riservata a superuomini o a extraterrestri. Credo sia essenziale rendersi conto del fatto che ogni fenomeno fisico obbedisce sempre a un meccanismo che può capire chiunque, purchè ci si avvicini con metodo e si procuri gli strumenti intellettuali che gli mancano.

Allora comincio proprio elaborando questo concetto, che è stato messo a fuoco da pochi secoli - anche se Archimede ne aveva capito buona parte. Si tratta di questo: i modi in cui si muovono i corpi, in cui fluiscono i liquidi e le correnti elettriche, in cui la luce viaggia e attraversa certe sostanze, in cui l'energia si trasforma e il calore viene trasmesso, vengono descritti molto bene per mezzo di relazioni matematiche. Altra cosa notevole che racconterò è che spesso una stessa equazione matematica descrive con la stessa esattezza fenomeni molto diversi.

C'è un'equazione differenziale che, con le sue soluzioni, descrive i modi in cui oscillano pendoli, molle, onde su mare e laghi e onde elettromagnetiche - che sono cose molto diverse fra loro. Equazioni identiche descrivono i modi in cui il calore si propaga all'interno di un materiale e quelli in cui si propagano le cariche elettriche. Sono circostanze sorprendenti - e interessanti.

Che per capire il mondo ci vuole la matematica, lo aveva già detto bene Galileo Galilei:

[Non riusciamo a capire la natura ...] "se prima non si impara a intender la lingua e a conoscere i caratteri nè quali è scritto questo grandissimo libro dell'Universo. Egli è scritto in lingua matematica e i caratteri sono triangoli, cerchi e altre figure geometriche, senza i quali

mezzi è impossibile intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto."

Al tempo di Galileo non esistevano ancora nè l'algebra, nè il calcolo infinitesimale, eppure lui aveva intuito bene come stanno le cose.

Cercherò di illustrare come si usino formule per descrivere certi processi naturali e per prevedere - calcolare - eventi futuri. Secondo alcuni lo scopo della fisica matematica è proprio quello di prevedere i risultati di esperimenti che ancora non sono stati fatti. Naturalmente le teorie usate vengono rafforzate quando poi gli esperimenti danno proprio i risultati previsti.

In queste pagine non darò lunghe spiegazioni di matematica (altro che in casi eccezionali). Gli strumenti matematici che servono, non certo per diventare professionisti, ma per capire davvero (a un livello elementare) come funziona la fisica, li ho forniti in un altro libretto ANCHE TU MATEMATICO (Garzanti, 1989 - ma ha avuto un buon successo e la dodicesima edizione è del 2003). Comunque per leggere questo libretto di fisica non è proprio necessario aver letto l'altro di matematica appena citato - ma te lo consiglio caldamente.

Dunque presenterò fenomeni che avvengono nel campo della meccanica e altri che si verificano in quello della termodinamica. Poi parlerò di elettricità e, brevemente di elettronica. Questo non è un trattato. È una serie di monografie collegate. Se le leggi e le studi, sarai un po' meno timido verso la fisica, imparerai a fare calcoli (che ti potranno anche essere utili) e a usare nuovi strumenti di pensiero.

Non mi limiterò a indicare quali formule servano per capire quali fenomeni. Mostrerò, invece, come si faccia a mettere i numeri dentro le formule fino a raggiungere un risultato finale confrontabile con la realtà. Il punto cruciale è proprio questo: bisogna che i calcoli vadano d'accordo con le osservazioni. Non basta certo applicare formule matematiche in un modo qualunque per arrivare a risultati giusti: i calcoli si possono sbagliare in tantissimi modi. Dobbiamo riflettere che le equazioni matematiche costituiscono un linguaggio con cui si possono fare discorsi precisi. Ma tanti discorsi sembrano giusti e non lo sono. Lo affermò Galileo:

"Ciò che l'esperienza e i sensi ci dimostrano, devesi anteporre a ogni discorso ancorchè ne paresse assai fondato."

Per rendere precise le indicazioni delle nostre esperienze sensoriali, occorre eseguire misure. Questo non è sempre possibile: spesso dobbiamo basarci su stime. Se queste sono ben fatte, potremo arrivare a risultati noti solo entro un intervallo di incertezza - ma avremo almeno un'idea di come vadano le cose.

Infine proverò ad accennare idee sulla relatività, sulla elettrodinamica quantistica, sulle superstringhe e su materia oscura ed energia oscura. Queste sono cose difficili e non vi serviranno a nessuno scopo pratico. Però serviranno a farvi intravedere quanto siano complicati i

ragionamenti che si devono fare su fenomeni che non possiamo percepire direttamente con i nostri sensi. Apprezziamo, allora, quel che succede utilizzando strumenti sofisticati. Capire almeno qualcuna di queste cose ha notevole valore culturale: non si tratta certo di idee finte. Sono idee che ci forniscono visioni approssimative almeno dei contorni di problemi, la cui analisi getterà luce sui limiti della logica e dei concetti che abbiamo di causa ed effetto.

Io faccio l'ingegnere - e sostengo di essere un metalmeccanico quando qualcuno mi chiama "intellettuale" : qui racconto, dunque, alcune cose che ho capito e altre che ho appena intravisto. Lo ritengo doveroso. Spero che ti serva per stare meglio al mondo. È un mondo variopinto, ma non ha senso guardarlo come se fosse fatto di macchie di colore che si muovono a caso. È complicato, ma comprensibile (almeno in parte). Sembra minaccioso a chi non lo capisce. Ti scorre accanto sempre più amico, quanto meglio ne conosci i meccanismi.