

A. FADINI - D. VITALE

# FISICA

PER I LICEI CLASSICI

CON PRESENTAZIONE DI  
GIOVANNI GIORGI

VOL. I



VALLECCHI EDITORE

## PRESENTAZIONE

di S. E. GIOVANNI GIORGI, Accademico Pontificio

*Gli insegnanti di Fisica nelle nostre scuole secondarie lamentano la difficoltà di trovare libri di testo ove la materia venga esposta con quella schietta semplicità che è consentita dai metodi moderni, e con aggiornamenti alle cognizioni attuali.*

*Ho incitato i Prof.ri D. Vitale e A. Fadini a scrivere un testo secondo le nuove idee. I due Autori sono ben conosciuti per la loro esperienza didattica, e pei loro personali contributi al rinnovamento degli studi: il Vitale, con le sue ricerche scientifiche originali, ha insegnato i metodi per inserire lo studio del magnetismo permanente negli schemi nuovi; il Fadini, in altri suoi libri, è riuscito a rendere attraente una materia come l'Aritmetica razionale, che era considerata fra le più aride.*

*Ho riveduto accuratamente il lavoro dei due egregi Autori. Nonostante tutto il lavoro di aggiornamento, non si può pretendere di aver raggiunto l'ideale: troppi legami col passato, dovuti ai programmi, alle abitudini invalse, alla scelta delle dotazioni sperimentali, esistono tuttora e non si può prescindere. Ma con questo libro è stato realizzato un progresso importante. Lo presento con fiducia agli insegnanti.*

G. G.

## PREFAZIONE

Nel compilare il presente testo di Fisica ci siamo prefissi lo scopo di sviluppare il programma in vigore con una trattazione scientifica e formativa, che deve riuscire nel tempo stesso chiara e di agevole studio per i lettori.

Abbiamo dovuto affrontare non lievi difficoltà e conciliare esigenze diverse ed antitetiche: rigore logico e semplicità di esposizione; ampiezza della materia da trattare e numero esiguo di ore d'insegnamento; impostazione sperimentale e scarse possibilità di realizzare gli esperimenti coi mezzi a disposizione.

Abbiamo iniziato la Meccanica con la Statica perché riteniamo che questa si possa svolgere in modo autonomo, con evidente vantaggio didattico. Nella Termologia abbiamo anticipato la Termodinamica, per facilitare l'interpretazione dei vari fenomeni trattati successivamente. Nell'Elettrologia, l'adozione integrale del sistema assoluto di unità GIORGI, il cui uso internazionale è stato sancito fin dal 1935, ci ha fatto abbandonare la trattazione classica per svolgere quest'importante parte della Fisica secondo le vedute più moderne.

I vari argomenti sono accompagnati dalle notizie storiche necessarie per inquadrare nel vasto campo della cultura generale le scoperte e le invenzioni più notevoli. Ogni parte inoltre è corredata da numerosi problemi e da esempi numerici.

La trattazione può sembrare sproporzionata alle poche ore d'insegnamento, ma abbiamo voluto presentare un libro che possa soddisfare le varie esigenze dei Docenti, tenendo presente che esse variano anche secondo l'ambiente scolastico. D'altra parte, è bene che il libro di testo costituisca anche una fonte a cui possa attingere il giovane per arricchire la sua cultura.

Le parti in carattere più piccolo possono essere tralasciate senza

pregiudizio della comprensione del testo, e i paragrafi che presentano una certa difficoltà sono segnati con l'asterisco.

Ci auguriamo di aver compiuto un'opera utile alla Scuola e saremo grati ai Colleghi che vorranno confortarci della loro approvazione ed inviarci il loro giudizio.

Ringraziamo S. E. GIOVANNI GIORGI per tutti i consigli datoci durante il nostro lavoro, ed inviamo un plauso alla Casa editrice VALLECCHI che ha voluto, con larghezza di mezzi, presentare l'opera riccamente illustrata ed in ottima veste tipografica.

GLI AUTORI.

# INDICE

|                                |      |     |
|--------------------------------|------|-----|
| <i>Presentazione</i> . . . . . | Pag. | V   |
| <i>Prefazione</i> . . . . .    |      | VII |

## INTRODUZIONE

|  |             |   |
|--|-------------|---|
| 1. Fenomeno . . . . .                                    | <i>Pag.</i> | 1 |
| 2. Oggetto della fisica . . . . .                        |             | 1 |
| 3. Metodo sperimentale . . . . .                         |             | 1 |
| 4. Misura delle grandezze fisiche . . . . .              |             | 2 |
| 5. Sistema assoluto di unità . . . . .                   |             | 4 |
| 6. Modi diversi per esprimere una legge fisica . . . . . |             | 4 |

## MECCANICA

### Capitolo I. — STATICA.

#### *Forze.*

|   |             |    |
|---|-------------|----|
| 7. La forza . . . . .   | <i>Pag.</i> | 12 |
| 8. Caratteri che definiscono la forza . . . . .                       |             | 12 |
| 9. Misura delle forze: dinamometro . . . . .                          |             | 14 |
| 10. Sistemi di forze in equilibrio . . . . .                          |             | 15 |
| 11. Principio di azione e reazione . . . . .                          |             | 16 |
| 12. Risultante ed equilibrante . . . . .                              |             | 16 |
| 13. Composizione delle forze . . . . .                                |             | 17 |
| 14. Coppia . . . . .  |             | 21 |
| 15. Componenti di una forza . . . . .                                 |             | 22 |
| 16. Componente di una forza secondo una direzione assegnata . . . . . |             | 23 |

#### *Corpi vincolati — Centro di gravità.*

|  |             |    |
|--|-------------|----|
| 17. Corpi vincolati . . . . .  | <i>Pag.</i> | 24 |
| 18. Corpi vincolati a un punto . . . . .                               |             | 24 |
| 19. Corpi vincolati a un asse . . . . .                                |             | 26 |
| 20. ARCHIMEDE e la leva . . . . .                                      |             | 27 |
| 21. Macchine derivanti dalla leva . . . . .                            |             | 30 |
| 22. Il piano inclinato . . . . .                                       |             | 32 |
| 23. Centro di gravità . . . . .  |             | 33 |
| 24. Equilibrio dei corpi soggetti alla sola forza di gravità . . . . . |             | 35 |
| 25. Ricerca sperimentale del centro di gravità . . . . .               |             | 38 |

*Forze molecolari. — Pressione. — Scorrimento.*

|  |             |    |
|--|-------------|----|
| 26. Costituzione molecolare dei corpi . . . . .          | <i>Pag.</i> | 39 |
| 27. Forze molecolari . . . . .                           |             | 40 |
| 28. Pressione. Variazione di volume . . . . .            |             | 41 |
| 29. Scorrimento. Variazione di forma . . . . .           |             | 42 |
| 30. Solidi. Liquidi. Gas . . . . .                       |             | 42 |
| 31. Altri tipi di deformazioni elastiche . . . . .       |             | 43 |
| 32. Forze resistenti di attrito e di pressione . . . . . |             | 44 |

Capitolo II. — CINEMATICA.

|   |             |    |
|---|-------------|----|
| 33. Quiete e moto . . . . .   | <i>Pag.</i> | 46 |
| 34. Traiettoria e legge del moto . . . . .                            |             | 46 |
| 35. Velocità media . . . . .  |             | 47 |
| 36. Velocità in un punto . . . . .                                    |             | 48 |
| 37. Moto uniforme . . . . .   |             | 49 |
| 38. Accelerazione media . . . . .                                     |             | 50 |
| 39. Accelerazione in un punto . . . . .                               |             | 52 |
| 40. Moto uniformemente vario . . . . .                                |             | 53 |
| 41. Moto circolare uniforme . . . . .                                 |             | 55 |
| 42. La velocità come vettore . . . . .                                |             | 56 |
| 43. Composizione degli spostamenti: il principio di GALILEI . . . . . |             | 57 |

Capitolo III. — DINAMICA.

*I tre principi.*

|  |             |    |
|--|-------------|----|
| 44. Primo principio o principio d'inerzia . . . . .            | <i>Pag.</i> | 59 |
| 45. Secondo principio o principio fondamentale . . . . .       |             | 61 |
| 46. Unità di forza e di massa nel sistema GIORGI . . . . .     |             | 62 |
| 47. Terzo principio o principio di azione e reazione . . . . . |             | 62 |
| 48. La forza centrifuga . . . . .                              |             | 64 |
| 49. Applicazioni della forza centrifuga . . . . .              |             | 66 |
| 50. Effetto giroscopico . . . . .                              |             | 67 |
| 51. Moto oscillatorio del pendolo . . . . .                    |             | 68 |
| 52. Leggi del pendolo . . . . .                                |             | 70 |
| 53. L'orologio . . . . .                                       |             | 71 |
| 54. Il moto di caduta dei corpi . . . . .                      |             | 73 |
| 55. Variazione e misura di <i>g</i> . . . . .                  |             | 74 |
| 56. Peso e massa . . . . .                                     |             | 75 |
| 57. La bilancia . . . . .                                      |             | 77 |
| 58. Peso specifico . . . . .                                   |             | 77 |
| 59. Densità relativa . . . . .                                 |             | 78 |
| 60. La forza di attrazione universale . . . . .                |             | 80 |

Capitolo IV. — LAVORO. ENERGIA.

|                                   |             |    |
|-----------------------------------|-------------|----|
| 61. Lavoro di una forza . . . . . | <i>Pag.</i> | 82 |
| 62. Unità di lavoro . . . . .     |             | 84 |
| 63. Energia . . . . .             |             | 85 |

|   |      |    |
|---|------|----|
| 64. Principio di conservazione dell'energia . . . . . | Pag. | 87 |
| * 65. Il lavoro nelle macchine . . . . .              |      | 89 |
| 66. Potenza. . . . .                                  |      | 90 |
| 67. Unità di potenza . . . . .                        |      | 91 |

Capitolo V. — STATICA DEI FLUIDI.

*Statica dei liquidi.*

|   |      |     |
|---|------|-----|
| 68. Principio di PASCAL . . . . .                                   | Pag. | 92  |
| 69. Pressione dovuta al peso dei fluidi: legge di STEVINO . . . . . |      | 94  |
| 70. Unità di pressione . . . . .                                    |      | 96  |
| 71. Vasi comunicanti . . . . .                                      |      | 97  |
| 72. Principio di ARCHIMEDE . . . . .                                |      | 97  |
| 73. Applicazioni del principio di ARCHIMEDE . . . . .               |      | 99  |
| 74. Forze molecolari nei liquidi. . . . .                           |      | 101 |

*Statica dei gas.*

|   |      |     |
|---|------|-----|
| 75. Principi di PASCAL e di ARCHIMEDE. . . . .  | Pag. | 103 |
| 76. Pressione atmosferica e sua misura. . . . . |      | 104 |
| 77. Barometro . . . . .                         |      | 107 |
| 78. Legge di BOYLE e MARIOTTE . . . . .         |      | 108 |
| 79. Manometri . . . . .                         |      | 109 |

Capitolo VI. — DINAMICA DEI FLUIDI.

|   |      |     |
|---|------|-----|
| 80. Causa del moto di un fluido . . . . .     | Pag. | 111 |
| 81. Portata idraulica . . . . .               |      | 112 |
| 82. Sifone . . . . .                          |      | 113 |
| 83. Aspiratori . . . . .                      |      | 114 |
| 84. Pompe per gas . . . . .                   |      | 115 |
| 85. Pompe per liquidi .. . . .                |      | 118 |
| 86. Turbine idrauliche . . . . .              |      | 119 |
| 87. Acquedotti. . . . .                       |      | 119 |
| * 88. Moto di un solido in un fluido. . . . . |      | 120 |
| 89. Navi - Elica - Timone . . . . .           |      | 121 |
| 90. Velivoli . . . . .                        |      | 122 |
| 91. Aerostati: palloni e dirigibili . . . . . |      | 123 |
| <i>Problemi di Meccanica.</i> . . . .         |      | 124 |

ACUSTICA

Capitolo I. — OSCILLAZIONI E ONDE.

|  |      |     |
|--|------|-----|
| 1. Moto vibratorio . . . . .                                       | Pag. | 128 |
| 2. Oscillazioni smorzate e oscillazioni persistenti . . . . .      |      | 130 |
| 3. Risonanza . . . . .   |      | 130 |
| 4. Oscillazioni persistenti del pendolo e del bilanciere . . . . . |      | 131 |
| 5. Onde longitudinali . . . . .                                    |      | 132 |
| 6. Onde trasversali . . . . .                                      |      | 134 |

Capitolo II. — NATURA E PROPAGAZIONE DEL SUONO.

|   |          |
|---|----------|
| 7. Natura fisica del suono. Sorgente sonora . . . . . | Pag. 137 |
| 8. Propagazione del suono . . . . .                   | 138      |
| 9. Onde sonore . . . . .                              | 139      |

Capitolo III. — CARATTERI DISTINTIVI DEI SUONI.

|  |          |
|--|----------|
| 10. Suono e rumore . . . . .                           | Pag. 141 |
| 11. Altezza . . . . .                                  | 141      |
| 12. Intensità . . . . .                                | 143      |
| 13. Timbro . . . . .                                   | 144      |
| 14. Caratteri fisici e fisiologici dei suoni . . . . . | 145      |

Capitolo IV. — FENOMENI DEL SUONO.

|   |          |
|---|----------|
| 15. Riflessione del suono. Eco. Coda sonora . . . . . | Pag. 146 |
| 16. Risonanza . . . . .                               | 147      |
| * 17. Interferenza . . . . .                          | 148      |

Capitolo V. — APPLICAZIONI DELL'ACUSTICA.

|  |          |
|--|----------|
| 18. Tubi acustici . . . . .                  | Pag. 151 |
| 19. Grammofono . . . . .                     | 152      |
| 20. Intervallo e scala musicale . . . . .    | 153      |
| 21. L'orecchio e l'udito . . . . .           | 153      |
| 22. Scandaglio mediante ultrasuoni . . . . . | 154      |
| <i>Problemi di Acustica</i> . . . . .        | 155      |

OTTICA

Capitolo I. — OTTICA GEOMETRICA.

*Propagazione rettilinea della luce.*

|   |          |
|---|----------|
| 1. Sorgenti luminose . . . . .                                    | Pag. 158 |
| 2. Corpi opachi e corpi trasparenti . . . . .                     | 158      |
| 3. Principii dell'ottica geometrica . . . . .                     | 159      |
| 4. Conseguenze della propagazione rettilinea della luce . . . . . | 159      |

*Riflessione della luce.*

|   |          |
|---|----------|
| 5. Leggi della riflessione . . . . .        | Pag. 161 |
| 6. Specchi piani . . . . .                  | 162      |
| 7. Specchi ad angolo . . . . .              | 164      |
| 8. Specchi paralleli . . . . .              | 164      |
| 9. Specchi curvi . . . . .                  | 165      |
| 10. Specchio sferico concavo . . . . .      | 165      |
| 11. Specchio sferico convesso . . . . .     | 167      |
| 12. Formula degli specchi sferici . . . . . | 169      |

*Rifrazione della luce.*

|   |                 |
|---|-----------------|
| 13. Leggi della rifrazione . . . . .                                      | <i>Pag.</i> 171 |
| 14. Doppia rifrazione . . . . .   | 173             |
| 15. Riflessione totale . . . . .  | 174             |
| 16. Rifrazione atmosferica . . . . .                                      | 175             |
| 17. Rifrazione attraverso una lastra a faccie piane e parallele . . . . . | 176             |
| 18. Rifrazione attraverso un prisma . . . . .                             | 177             |
| 19. Prismi a riflessione totale . . . . .                                 | 178             |
| 20. Rifrazione attraverso una lente . . . . .                             | 179             |
| 21. Lenti convergenti . . . . .   | 180             |
| 22. Lenti divergenti . . . . .  | 182             |
| 23. Formula delle lenti sottili . . . . .                                 | 184             |
| 24. Dispersione della luce . . . . .                                      | 185             |
| 25. Difetti delle lenti e dei sistemi di lenti . . . . .                  | 187             |

Capitolo II. — OTTICA FISIOLÓGICA.

|   |                 |
|---|-----------------|
| 26. L'occhio . . . . .  | <i>Pag.</i> 189 |
| 27. La visione . . . . .  | 189             |
| 28. Difetti della vista . . . . .                                       | 190             |
| 29. Percezione della distanza e della grandezza degli oggetti . . . . . | 192             |
| 30. Visione binoculare e percezione del rilievo . . . . .               | 192             |
| 31. Alcuni fenomeni caratteristici della visione . . . . .              | 193             |

Capitolo III. — FOTOMETRIA.

|  |                 |
|--|-----------------|
| 32. Intensità luminosa di una sorgente . . . . .       | <i>Pag.</i> 195 |
| 33. Intensità d'illuminazione di uno schermo . . . . . | 196             |
| 34. Fotometri . . . . .                                | 198             |

Capitolo IV. — STRUMENTI OTTICI.

|  |                 |
|--|-----------------|
| 35. Microscopio . . . . .                | <i>Pag.</i> 199 |
| 36. Apparecchio fotografico . . . . .    | 201             |
| 37. Apparecchio per proiezione . . . . . | 201             |
| 38. Cinematografo . . . . .              | 203             |
| 39. Cannocchiali . . . . .               | 204             |
| 40. Telescopio . . . . .                 | 207             |

Capitolo V. — OTTICA ONDULATORIA.

|  |                 |
|--|-----------------|
| 41. Velocità della luce . . . . .                    | <i>Pag.</i> 208 |
| * 42. Interferenza della luce . . . . .              | 210             |
| 43. Lunghezza d'onda della luce . . . . .            | 211             |
| 44. Raggi infrarossi e raggi ultravioletti . . . . . | 212             |
| 45. Spettroscopio . . . . .                          | 213             |
| * 46. Diffrazione e principio di HUYGENS . . . . .   | 215             |
| * 47. Polarizzazione della luce . . . . .            | 216             |
| 48. Fluorescenza . . . . .                           | 217             |
| 49. Fosforescenza e luminescenza chimica . . . . .   | 218             |
| <i>Problemi di Ottica</i> . . . . .                  | 218             |

## INTRODUZIONE

1. *Fenomeno*. — Nel linguaggio scientifico si chiama *fenomeno* qualsiasi fatto che accade in natura. Sono fenomeni ad esempio la caduta di un sasso, il volo di un uccello, la combustione del carbone, ecc.. La parola fenomeno ha quindi nel linguaggio scientifico un significato più generale di quello comune.

2. *Oggetto della fisica*. — La scienza che si propone l'osservazione e l'interpretazione dei fenomeni naturali abbraccia campi vastissimi ed investe tutto lo scibile. Essa, negli albori della civiltà, costituiva un'unica scienza: la *scienza della natura, detta fisica*. Col progredire delle cognizioni però, fu necessario suddividere questa scienza in varie parti: l'astronomia, la fisica propriamente detta, la chimica, la mineralogia, la botanica, la biologia, ecc..

Ma, come è facile intuire, vi sono fenomeni che interessano contemporaneamente diverse branche e quindi non è possibile una distinzione netta fra l'una e l'altra, proprio perché una tale suddivisione è dovuta esclusivamente a comodità di studio.

Nel seguito potremo meglio comprendere quali fenomeni siano precisamente l'oggetto di studio della fisica.

Per ora possiamo dire soltanto che, per ragioni pratiche, la fisica si divide in cinque parti:

- 1) *Meccanica* che studia le forze e il moto.
- 2) *Termologia* che studia il calore.
- 3) *Acustica* che studia il suono.
- 4) *Ottica* che studia la luce.
- 5) *Elettrologia* che studia l'elettricità ed il magnetismo.

3. *Metodo sperimentale*. — Studiare un fenomeno significa determinarne le modalità, indagare sulle cause che lo producono e scoprirne gli effetti. Questo studio conduce a individuare le relazioni esistenti fra le diverse grandezze che prendono parte al fenomeno, cioè la *legge del fenomeno*.

Una tale indagine è tutt'altro che facile, sia perché i fenomeni naturali dipendono, per lo più, da cause numerose, sia perché gene-

ralmente essi risultano complicati dal contemporaneo verificarsi di fenomeni secondari. Per giungere quindi a stabilire la legge del fenomeno occorre un metodo d'indagine.

Orbene, fino al secolo XVI lo studio delle scienze si ridusse a pure speculazioni intellettuali fatte sugli intangibili testi di ARISTOTELE (1). La via giusta, feconda



FIG. 1. — GALILEO GALILEI.

di risultati, fu additata dal nostro grande GALILEO GALILEI (2) il quale pose a base della ricerca scientifica il ragionamento liberato da ogni preconcetto e fondato sull'esperimento. Questo consiste nel riprodurre un fenomeno nelle condizioni più favorevoli per il suo studio, perciò tale metodo d'indagine viene detto *metodo sperimentale*. Esso ha enormemente contribuito al progresso delle scienze; non a torto perciò GALILEO GALILEI merita di essere considerato come il fondatore della fisica moderna.

Invero anche ARISTOTELE insegnava che bisogna tener conto dell'esperienza, intesa come osservazione dei fenomeni che ci circondano; ma non aveva alcuna idea dell'esperimento, che i greci disprezzavano come cosa materiale e volgare.

I primi esempi di ricerche sperimentali si hanno alla fine del Medio Evo, ma quelle di GALILEI hanno un aspetto nuovo. Il nostro grande pisano, convinto che l'universo è come un libro aperto dinanzi ai nostri occhi e scritto in linguaggio matematico, non si accontenta di esperienze generiche, ma sottopone a misura tutte le grandezze che prendono parte al fenomeno.

Sicché nel metodo sperimentale lo studio di un fenomeno è strettamente connesso alla misura delle grandezze.

**4. Misura delle grandezze fisiche.** — Nello studio della fisica intervengono diverse grandezze come il tempo, la lunghezza, il peso, ecc. Esse hanno reale consistenza per noi, solo in quanto sappiamo misurarle, anzi in generale *per definire una grandezza fisica basta fissare il modo per misurarla.*

(1) Sommo filosofo greco nato a Stagira (Macedonia) nel 384 a. C.; morto nel 322 a. C.  
(2) Nato a Pisa nel 1564; morto ad Arcetri nel 1642.

Com'è noto, misurare una grandezza significa esprimere con un numero il rapporto fra la grandezza da misurare ed un'altra grandezza della stessa specie, scelta quale *unità di misura*; per far ciò occorre fissare:

- 1°) la grandezza da assumere quale *unità di misura* ;
- 2°) le condizioni che devono essere verificate perché due grandezze della stessa specie siano uguali (*criterio di uguaglianza*);
- 3°) le condizioni che devono essere verificate perché una grandezza sia doppia, tripla, ecc. di un'altra della stessa specie (*criterio di somma*).

Quando siano fissate queste tre convenzioni per una grandezza fisica, vengono definiti il *valore numerico* ed il *valore concreto*.

**Il valore numerico o misura di una grandezza è il numero che esprime il rapporto fra la grandezza in esame e quella della stessa specie assunta quale unità di misura.**

Così quando diciamo che il valore numerico della lunghezza  $AB$  è 3, intendiamo che 3 è il rapporto fra la lunghezza  $AB$  e l'unità di misura, ossia che la lunghezza unitaria entra tre volte in  $AB$ .

**Il valore concreto di una grandezza fisica è il prodotto del suo valore numerico (o misura) per la grandezza assunta come unità.**

Così ad esempio 3 metri (3 m) è il valore concreto di una certa lunghezza; esso è costituito dal prodotto del numero 3 (misura), per la lunghezza 1 metro (grandezza unitaria).

Notiamo che ogni valore concreto è paragonabile ad un monomio avente per coefficiente la misura e per parte letterale la grandezza unitaria. In base a questa osservazione, e mediante convenzioni opportune, si definiscono le operazioni fra i valori concreti delle grandezze, allo stesso modo che le operazioni fra monomi algebrici <sup>(1)</sup>.

Così ad esempio:

$$5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 15 \text{ m}^2$$

si ottiene così quale prodotto di due lunghezze, una nuova grandezza: l'*area*, la cui unità di misura è il metro quadrato.

Analogamente:

$$20 \text{ km} : 4 \text{ ore} = 5 \frac{\text{km}}{\text{ora}}$$

si ottiene così, quale rapporto fra una lunghezza ed un tempo, una

---

<sup>(1)</sup> Per una più ampia trattazione dell'argomento vedi: A. FADINI e G. DI PAOLO, *Elementi di aritmetica razionale*. Appendice. Editore Conte, Napoli.

nuova grandezza fisica: *la velocità*, la cui unità di misura è il chilometro all'ora.

5. *Sistema assoluto di unità.* — Abbiamo detto che per misurare una grandezza occorre fissarne l'unità di misura. Si potrebbe scegliere per ogni grandezza un'unità di misura indipendente; ma quando una grandezza fisica dipende da altre, per le quali è stata già fissata l'unità di misura, è opportuno che la nuova unità, detta *unità derivata*, sia scelta tenendo conto di questa dipendenza.

Così, ad esempio, se per unità di lunghezza si assume *il metro*, è conveniente assumere per unità di superficie il *metro quadrato* (cioè un quadrato di lato 1 metro) e per unità di volume il *metro cubo* (cioè un cubo di spigolo 1 metro). In tal modo si evitano fastidiose riduzioni e le formule risultano più semplici.

Ad es. detta  $h$  l'altezza,  $b$  la base di un rettangolo ed  $S$  la superficie, la formula  $S = hb$  dà senz'altro l'area in  $m^2$  quando  $h$  e  $b$  sono espressi in m. Se per la superficie si assume invece il  $cm^2$ , allora bisogna moltiplicare il risultato per 10000 e la formula va scritta:  $S = 10000 hb$ .

Si comprende quindi il grande vantaggio che si ottiene fissando un esiguo numero di *unità fondamentali* fra loro indipendenti e deducendo poi ciascuna *unità derivata*, mediante le relazioni che, in virtù di leggi fisiche o geometriche, e di convenzioni ben precisate, legano la nuova unità a quelle precedentemente stabilite.

Quando *le unità fondamentali sono invariabili* e si procede nel modo anzidetto alla scelta dell'unità per le diverse grandezze, si viene a formare un sistema assoluto.

Il sistema assoluto oggi in vigore è il *sistema GIORGI* <sup>(1)</sup>. In questo sistema si assumono come fondamentali tre grandezze meccaniche alle quali se ne aggiunge una quarta per lo studio dei fenomeni elettrici.

Le unità scelte come fondamentali e quelle derivate del sistema GIORGI saranno definite man mano che incontreremo le relative grandezze.

6. *Modi diversi per esprimere una legge fisica.* — Per esprimere una legge fisica vi sono vari modi:

- 1) Mediante la tabella di osservazione.
- 2) Mediante il diagramma.
- 3) Mediante una relazione algebrica.
- 4) Mediante l'enunciato.

---

(1) Il Prof. GIOVANNI GIORGI dell'Università di Roma, oggi Accademico Pontificio, propose tale sistema fin dal 1901. Il suo uso internazionale è stato sancito nel 1935 nei Congressi di Schooneningen e di Bruxelles e confermato nel 1938 a Torquay.

TABELLA DI OSSERVAZIONE. — Per semplicità riferiamoci ad un esempio. Supponiamo di voler studiare la legge che regola il fenomeno dell'allungamento di un filo di rame per l'azione di un peso che lo tende (fig. 2). Sperimentando sempre sullo stesso filo, applichiamo successivamente pesi di 1, 2, 3, 4... kg e misuriamo volta a volta gli allungamenti. Siano essi rispettivamente di 0,5; 1; 1,5; ... mm.

Disponiamo in una tabella questi dati sperimentali ponendo sulla stessa orizzontale i valori corrispondenti dell'allungamento e del peso.

| Peso tensore | Allungamento |
|--------------|--------------|
| 1 kg         | 0,5 mm       |
| 2 kg         | 1 mm         |
| 3 kg         | 1,5 mm       |
| 4 kg         | 2 mm         |

La relazione fra il peso tensore e l'allungamento, cioè la legge del fenomeno, viene così rappresentata dalla *tabella di osservazione*; da essa ad esempio, si rileva che: *raddoppiando il peso tensore si raddoppia anche l'allungamento*.

Questo metodo di rappresentazione si può usare per lo studio di qualunque fenomeno ed è evidente che esso riesce tanto più completo quanto più numerose sono le misure effettuate.

DIAGRAMMA O GRAFICO. — Molto espressiva è la rappresentazione grafica della legge. Essa permette di riconoscere a colpo d'occhio come varia una grandezza rispetto ad un'altra da cui dipende.

Supponiamo di essere già in possesso della rappresentazione tabellare e, per fissare le idee, riferiamoci alla tabella precedente, alla quale però aggiungiamo un'altra colonna nella quale indichiamo i punti che rappresenteranno, nel grafico, le coppie corrispondenti dei valori concreti delle due grandezze.

| Peso tensore | Allungamento | Punto rappresentativo |
|--------------|--------------|-----------------------|
| 1 kg         | 0,5 mm       | A                     |
| 2 kg         | 1 mm         | B                     |
| 3 kg         | 1,5 mm       | C                     |
| 4 kg         | 2 mm         | D                     |

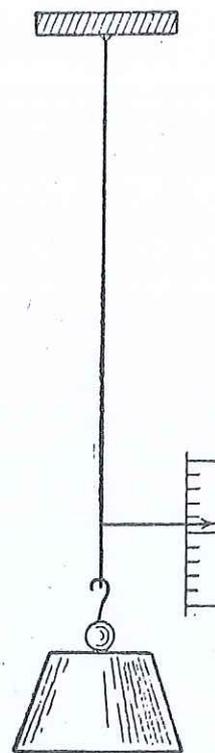


FIG. 2.

Disegniamo poi in un piano due rette perpendicolari  $Ox$  ed  $Oy$  (fig. 3) delle quali  $Ox$  è detto *asse delle ascisse* ed  $Oy$  *asse delle ordinate*.

Scelto  $O$  come *origine* e fissato a piacere un *segmento unitario* sull'asse  $x$  ed un altro sull'asse  $y$ , è noto che su ciascun asse possiamo far corrispondere ad ogni numero reale un punto. Ciò consente di rappresentare su di un asse i *valori concreti* di una grandezza, rappresentando i rispettivi *valori numerici* espressi tutti in una stessa unità.

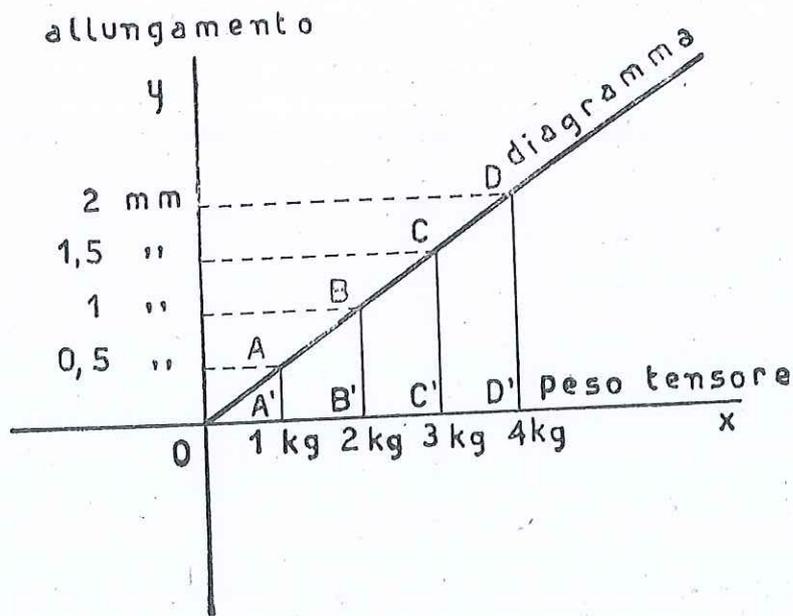


FIG. 3.

Rappresentiamo allora sull'asse  $x$  i valori concreti di una delle grandezze che prendono parte al fenomeno, per esempio il peso, e sull'asse  $y$  i valori concreti dell'altra, cioè l'allungamento:

Avremo così sull'asse  $x$  i punti  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$ ... che rappresentano rispettivamente 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg,...

Per il punto  $A'$  conduciamo un segmento  $A'A$  parallelo all'asse  $y$ , la cui lunghezza (nella scala di disegno fissata per l'asse  $y$ ) rappresenti l'allungamento di 0,5 mm corrispondente al peso di 1 kg (rappresentato da  $A'$ ); così pure per  $B'$  conduciamo un segmento  $B'B$  parallelo ad  $y$  la cui lunghezza rappresenti l'allungamento di 1 mm corrispondente al peso di 2 kg (rappresentato da  $B'$ ) e così per tutti gli altri punti  $C'$ ,  $D'$  ecc..

I punti  $A, B, C, D$  rappresentano le coppie di valori corrispondenti delle due grandezze che intervengono nel fenomeno. Raccorrandoli con una linea continua si ottiene il *diagramma* o curva rappresentativa della legge del fenomeno.

Nell'esempio illustrato il diagramma è una retta; ma in generale esso può anche risultare una linea qualsiasi.

**RELAZIONE ALGEBRICA. ENUNCIATO.** — Il metodo tabellare e quello grafico, che da esso deriva, si possono applicare allo studio di qualunque fenomeno. Spesso però accade che la relazione fra i valori delle grandezze che intervengono in un fenomeno si possa esprimere algebricamente. Ciò in particolare si verifica in due casi molto comuni nello studio della fisica: cioè quando le grandezze sono *direttamente* o *inversamente* proporzionali.

È noto che:

**due grandezze sono direttamente proporzionali quando il rapporto fra i corrispondenti valori concreti rimane costante.**

È questo precisamente il caso dell'allungamento del filo ora studiato; abbiamo infatti i rapporti:

$$\frac{0,5 \text{ mm}}{1 \text{ kg}} = \frac{1 \text{ mm}}{2 \text{ kg}} = \frac{1,5 \text{ mm}}{3 \text{ kg}} = \frac{2 \text{ mm}}{4 \text{ kg}} = 0,5 \frac{\text{mm}}{\text{kg}} = K = \text{costante}$$

Indicando allora con  $P$  un qualunque valore concreto del peso tensore e con  $a$  il corrispondente valore concreto dell'allungamento, possiamo scrivere

$$\frac{a}{P} = K \quad [1]$$

ovvero  $a = KP \quad [2]$

$K$  dicesi *costante di proporzionalità diretta*.

Potremo dire che nelle condizioni del nostro esperimento:

*l'allungamento di un filo è direttamente proporzionale al peso tensore.*

In questo modo viene enunciata la legge, della quale la tabella a pag. 5 è la rappresentazione tabellare, il grafico a pag. 6 è la rappresentazione grafica e la formola [1] o la [2] è la espressione analitica.

Così pure è noto che:

**due grandezze sono inversamente proporzionali quando il prodotto fra i corrispondenti valori concreti rimane costante.**

Ad esempio consideriamo la relazione fra la base e l'altezza dei rettangoli di area assegnata. Siano ad esempio, 2 m, 3 m, 4 m i valori concreti della base e rispettivamente 6 m, 4 m, 3 m quelli dell'altezza.

I prodotti tra i valori concreti corrispondenti sono:

$$2 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 3 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 12 \text{ m}^2 = K = \text{costante.}$$

Indicando allora con  $b$  un qualunque valore concreto della base, con  $h$  un qualunque valore concreto dell'altezza possiamo scrivere:

$$b h = K \quad [3]$$

$$\text{ovvero } b = \frac{K}{h} \quad [4]$$

$K$  si chiama *costante di proporzionalità inversa*.

E potremo dire che:

*nei rettangoli di data area l'altezza è inversamente proporzionale alla base.*

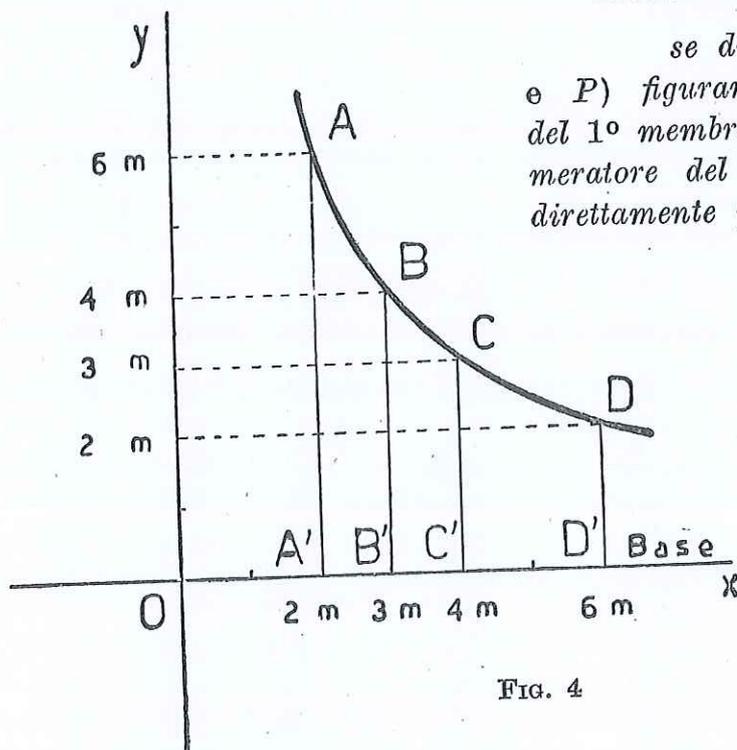
In questo modo viene enunciata la legge di questo fatto geometrico. La [3], o la [4], esprime invece la legge in forma algebrica.

Le rappresentazioni tabellare e grafica della legge sono segnate qui appresso:

| Base | Altezza | Punto rappresentativo |
|------|---------|-----------------------|
| 2 m  | 6 m     | A                     |
| 3 m  | 4 m     | B                     |
| 4 m  | 3 m     | C                     |
| 6 m  | 2 m     | D                     |

Altezza

Riassumendo:



*se due grandezze (come  $a$  e  $P$ ) figurano una al numeratore del 1° membro e l'altra anche al numeratore del 2° membro, esse sono direttamente proporzionali;*

*se due grandezze (come  $b$  ed  $h$ ) figurano una al numeratore del 1° membro e l'altra al denominatore del 2°, esse sono inversamente proporzionali.*

Talvolta un fenomeno dipende da più grandezze fisiche

FIG. 4

ed esiste una formula algebrica che lega fra loro tutte le grandezze in giuoco. Supponiamo che questa formula sia del tipo:

$$a = k \frac{b c^2}{l^3 \sqrt{m}}$$

Poiché, mentre la grandezza  $a$  è al numeratore del 1° membro, le grandezze  $b$  e  $c^2$  figurano al numeratore del 2° membro, la grandezza  $a$  risulta direttamente proporzionale sia alla grandezza  $b$  che al quadrato della grandezza  $c$ . Poiché le grandezze  $l^3$  e  $\sqrt{m}$  sono al denominatore del 2° membro la grandezza  $a$  risulta inoltre inversamente proporzionale al cubo della grandezza  $l$  e alla radice quadrata della grandezza  $m$ .