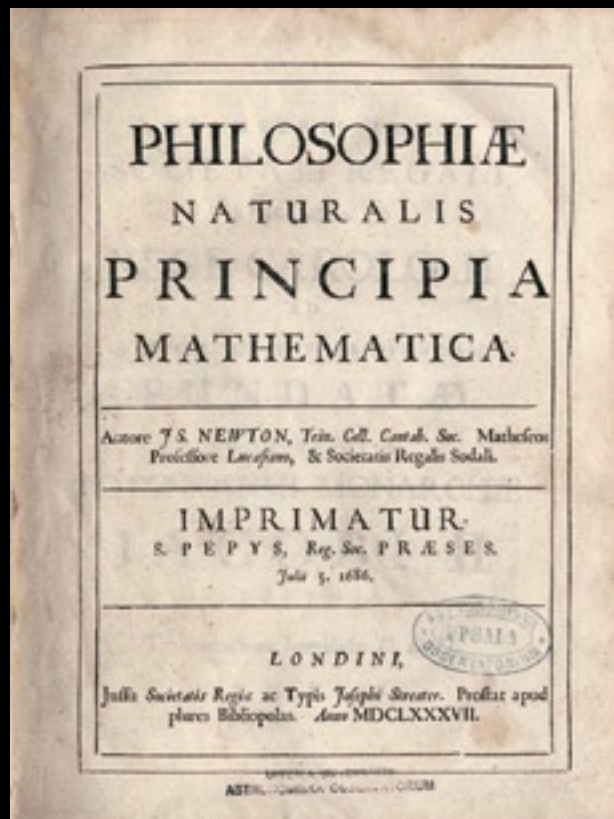


[as] radici

Da Newton a Higgs, breve storia della massa.

di Pasquale Tucci,

professore di Storia della Fisica
all'Università degli Studi di Milano
e direttore del Museo
Astronomico-Orto Botanico di Brera



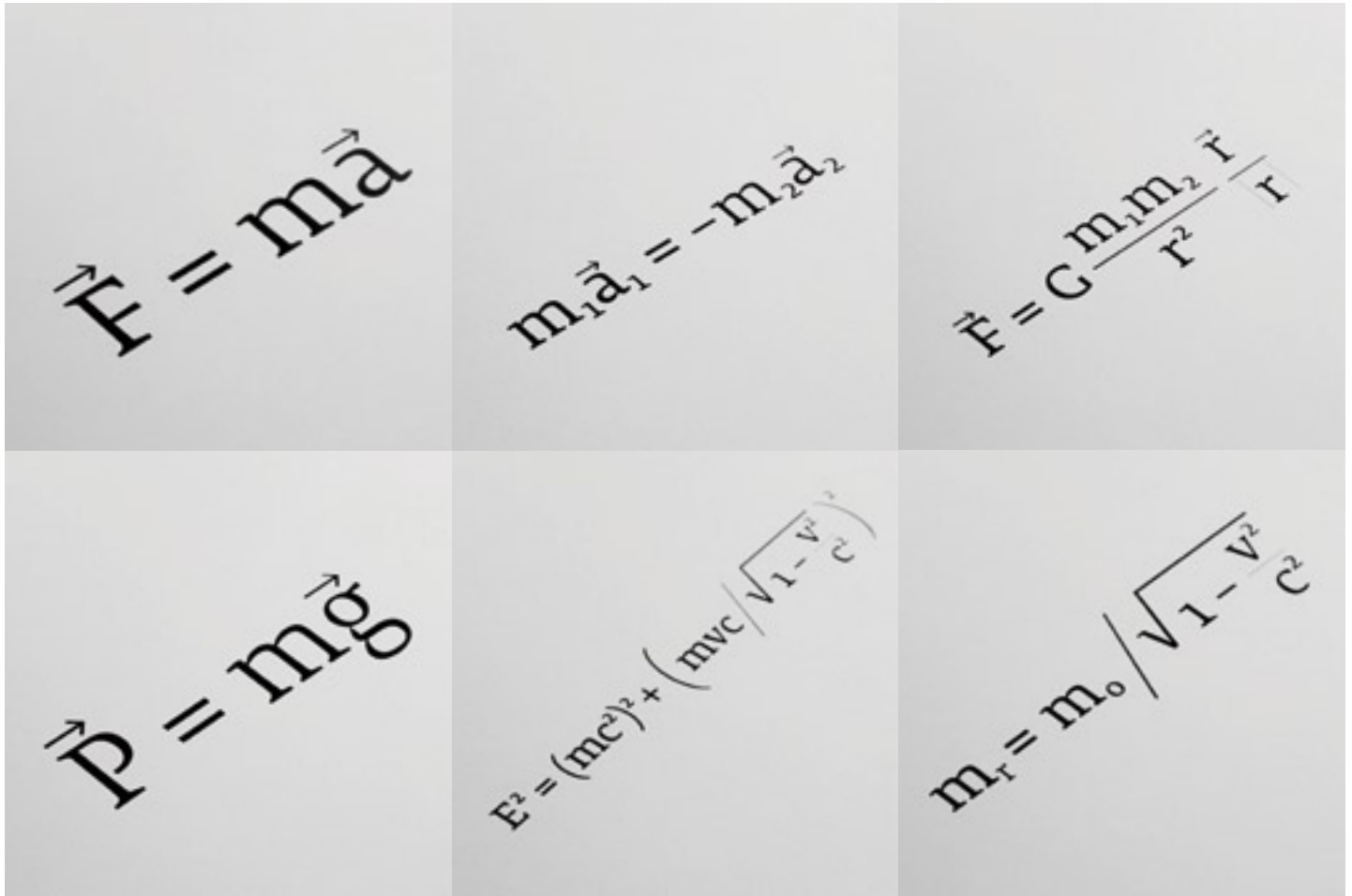
a.

Nel 1687, esponendo nei *Principi Matematici di Filosofia Naturale* (vd. fig. a) i fondamenti di quella che in seguito sarà chiamata Meccanica Classica, Newton attribuisce alla materia – di cui postula l'esistenza – la proprietà di possedere una forza d'inerzia interna in grado di resistere a qualsiasi azione tenti di cambiarne lo stato di quiete o moto rettilineo uniforme. Ne discende la seguente definizione: la massa m è la misura della capacità di un corpo di opporsi alle variazioni di velocità e dà conto della sua *inerzia*. Per questa ragione la m che compare nella seconda legge del moto (fig. b) è chiamata *massa inerziale* ed è misurata per confronto con una massa di riferimento nota, attraverso la legge di azione e reazione (fig. c). Nella Meccanica di Newton vi è inoltre un'altra definizione: la massa m di un corpo fornisce la misura della sua capacità di interagire con altre masse in accordo con la legge della gravitazione universale (fig. d). È questa la ragione per cui chiamiamo *massa gravitazionale* la m che compare nella legge, che misuriamo con una bilancia: la forza peso è ottenuta immediatamente (fig. e) indicando con \vec{g} l'accelerazione di gravità. Come aveva dimostrato Galilei, d'altra parte, fissato un qualsiasi punto della superficie terrestre,

l'accelerazione \vec{g} è uguale per tutti i corpi in caduta libera, indipendentemente dalla materia della quale sono costituiti e dallo stato fisico nel quale si trovano.

L'aspetto sorprendente è che misurando la massa dello stesso corpo mettendosi nelle condizioni sperimentali utili a evidenziare, in un caso la sua massa inerziale, in un altro la sua massa gravitazionale, si osserva che il valore numerico è lo stesso: a priori sarebbe stato difficile ipotizzare questo risultato, data la profonda differenza concettuale tra inerzia e gravità. L'eguaglianza tra massa inerziale e massa gravitazionale fu rilevata per la prima volta da Newton nel 1687 con esperimenti con il pendolo, poi da Friedrich Bessel nel 1827 e, ancora, da Loránd Eötvös nel 1890 (per approfondimenti, vd. *Asimmetrie* n. 5). Come osservò Einstein, il fenomeno è semplicemente registrato nella Meccanica Newtoniana, ma non è deducibile dalla teoria. È un indizio negletto il fatto che la stessa qualità di un corpo si manifesti, a seconda delle circostanze, come inerzia o come gravità e che siano le modalità di misura a rendere manifesta una o l'altra delle caratteristiche. Einstein considererà invece l'uguaglianza tra massa inerziale e massa gravitazionale la

a.
La copertina dell'opera fondamentale di Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* nell'edizione originale del 1688.



b.	c.	d.
e.	f.	g.

h.



b.
La seconda legge del moto.

c.
La legge di azione e reazione.

d.
La legge della gravitazione universale definisce la forza di attrazione tra due masse m_1 e m_2 poste a distanza r . G è la costante di gravitazione universale.

e.
La forza peso di un corpo di massa m .

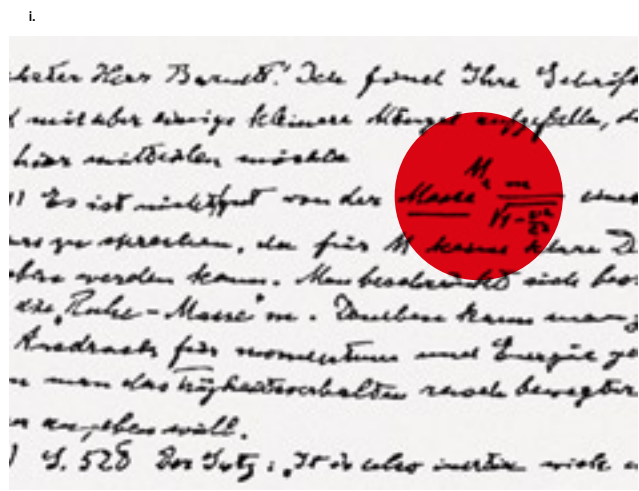
f.
Relazione tra l'energia totale e la quantità di moto relativistica di un corpo di massa m in moto a velocità v nella teoria della relatività speciale. c è la velocità della luce nel vuoto.

g.
Formula per la massa relativistica di un corpo di massa m_0 in moto a velocità v .

base empirica del principio della relatività generale (1915) che dà una spiegazione coerente della relazione tra inerzia e gravità. Un primo tentativo di mettere in relazione inerzia e gravità era stato fatto qualche decennio prima, nel 1883, in *La Meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, da Ernst Mach, il quale aveva ipotizzato che l'inerzia non fosse altro che l'azione gravitazionale esercitata su un corpo dalle masse lontane distribuite nell'Universo. La massa, quindi, non era per Mach una caratteristica intrinseca del corpo, come pensava Newton, ma dipendeva dalle sue relazioni con altri corpi. Mentre per la Meccanica Newtoniana, se anche nell'Universo esistesse solo un corpo, questi avrebbe continuato ad avere massa inerziale, nella riformulazione di Mach della Meccanica esso non avrebbe né massa inerziale, né massa gravitazionale. Nel contesto della teoria della relatività speciale, se postuliamo l'esistenza della massa, ne facciamo discendere la definizione dalla relazione tra l'energia totale e la quantità di moto relativistica (fig. f). La massa, quindi, è definita come l'energia di un corpo in quiete (a meno della costante c^2) e il suo valore è misurato da un osservatore in un sistema di riferimento inerziale solidale alla massa

stessa. La m così misurata viene anche chiamata m_0 , ovvero *massa a riposo*, e la corrispondente E è chiamata *energia a riposo*, E_0 . La massa m è invariante in tutti i sistemi di riferimento inerziali e si conserva. L'energia totale, invece, si conserva ma non è invariante. È possibile definire la m anche in altro modo introducendo la cosiddetta *massa relativistica* (fig. g). Tuttavia, Einstein non gradiva tale approccio sebbene esso sia tuttora diffuso anche in trattazioni avanzate di teoria della relatività speciale (vd. fig. i). Nella Meccanica Quantistica, una particella di massa m può comportarsi come onda o come corpuscolo in base alle modalità di misura usate per rivelarla. Ma se ci mettiamo nelle condizioni sperimentali tali da evidenziare il suo comportamento corpuscolare, allora essa esibirà un comportamento del tutto analogo a quello previsto dalla teoria della relatività ristretta. Sia nella Meccanica Classica, sia nella teoria della relatività ristretta, sia nella Meccanica Quantistica l'origine della massa non è spiegata. Nella teoria della relatività generale (1915), sia la massa che l'energia sono la sorgente di un campo gravitazionale e il campo stesso ha una massa (vd. fig. h). La teoria

della relatività generale fa il tentativo di spiegare l'origine della massa. Come dirà Einstein stesso, nel 1949, in *Albert Einstein, scienziato e filosofo*, "[...] si resta colpiti dal dualismo insito nel fatto che il punto materiale (o punto massa) in senso newtoniano e il campo come continuo fisico stiano l'uno accanto all'altro come concetti elementari". Il programma relativistico einsteiniano, elaborato quasi mezzo secolo prima, tentava di eliminare il fastidioso dualismo: la particella sarebbe semplicemente una zona di densità particolarmente elevata dell'energia di campo e il concetto di massa potrebbe essere dedotto dalle equazioni di campo unitamente alle equazioni di moto delle particelle. Ma il programma einsteiniano non riuscirà a raggiungere l'obiettivo di spiegare l'origine della massa. Il Modello Standard delle particelle elementari dà conto dell'origine della massa in maniera nuova e coerente. La massa, infatti, nascerebbe dall'interazione delle particelle con un campo quantomeccanico, il campo di Higgs; per confermare questa interpretazione sembrerebbe mancare all'appello solo un tassello: la particella associata all'omonimo campo, il bosone Higgs.



h.
La prima misura di campo gravitazionale condotta da Loránd Eötvös con la bilancia di torsione sulla collina di Ság, nel Transdanubio occidentale, nell'agosto del 1891. Eötvös è visibile in secondo piano, seduto davanti allo strumento.

i.
Lettera di Albert Einstein a Lincoln Barnett, del 19 giugno 1948. Einstein scriveva in tedesco, ma la lettera fu stilata e spedita in inglese. Il passaggio significativo in questo estratto è: "Non è bene introdurre il concetto di massa $M = m/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ di un corpo in movimento, perché di essa non può essere data una chiara definizione. È meglio non parlare di altri concetti di massa che non siano quello della massa a riposo. Piuttosto che introdurre M è meglio parlare di momento e di energia di un corpo in movimento".