

# chiedi a Ulisse

## L'enunciato del principio di inerzia

---

**Domanda** Perché è incompleto enunciare il principio di inerzia in questa forma: "un corpo non soggetto a forze o è in quiete o si muove di moto rettilineo uniforme"?

**Posta da** Lorenzo Galli

**Ricevuta il** 2 settembre 2005

---

**Risposta** Il principio di inerzia, introdotto da Galileo e generalizzato da Cartesio, fu posto da Newton a fondamento della dinamica nella veste di prima legge del moto:

"Lex I: corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare" (*Prima legge: ogni corpo mantiene il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme se non è costretto a cambiare tale stato per effetto di forze esterne applicate al corpo stesso*).

Questo enunciato riassume le proprietà inerziali dei corpi in una forma estremamente generale e sintetica. La formulazione più usata del principio di inerzia rimane ancora oggi essenzialmente quella di Newton, ma si usano anche forme equivalenti, fra le quali quella riportata nella domanda. I testi di fisica presentano il principio di inerzia anche come legge di inerzia o, più spesso, come prima legge di Newton, con differenze da testo a testo. Le differenze sono maggiori di quanto non avvenga per le altre leggi di Newton, e dipendono fondamentalmente dal fatto che alcuni testi (per esempio il Resnick-Halliday e il Corso di Fisica di Berkeley) accostano all'enunciato della prima legge la definizione di sistema di riferimento inerziale. Vi sono testi in cui la prima legge non è discussa a fondo, ed è considerata "una semplice riaffermazione del principio di inerzia di Galileo" (Feynman) o "come caso particolare della seconda legge" (Perucca).

Talvolta viene attribuita alla prima legge la duplice veste di definizione di sistema inerziale e di enunciato del principio di inerzia galileiano: "La prima legge di Newton è in realtà una considerazione sui sistemi di riferimento" (Resnick-Halliday).

Quanto detto evidenzia che l'enunciato del principio di inerzia, nella forma della prima legge di Newton (o equivalente), è incompleto, perché non contiene nessuna informazione sui sistemi di riferimento nei quali il principio è valido. È evidente che non può essere valido in generale, perché la velocità di un corpo è sempre relativa a un riferimento che consideriamo in quiete e che, in linea di principio, possiamo scegliere arbitrariamente. Niente ci impedisce di misurare la velocità di un corpo da diversi sistemi di riferimento, che possono essere in accelerazione l'uno rispetto all'altro. Chiaramente il "corpo non soggetto a forze" considerato dal principio di inerzia non può essere in quiete o avere moto rettilineo uniforme rispetto a tutti questi sistemi di riferimento: rispetto ad alcuni di essi avrà un'accelerazione non nulla.

Si possono fare anche considerazioni di altro genere sulla incompletezza dell'enunciato del principio di inerzia, che dipendono in parte dal suo contenuto sintetico: si presuppone, per esempio, che la massa del corpo sia costante, si sottintende che la forza sia nulla anche quando sul corpo agiscono più forze a risultante nulla (forze equilibrate), che la forza sia applicata al centro di massa, che il corpo non ruoti ecc. Tuttavia la questione centrale rimane quella di specificare rispetto a che cosa il corpo è in quiete o in moto. È necessario pertanto completare l'enunciato in questione con questa aggiunta: esiste una classe di sistemi di riferimento (quindi non tutti), da considerare in quiete o in moto rettilineo uniforme di pura traslazione (non rotanti), rispetto ai quali l'enunciato iniziale del principio d'inerzia è valido (e sono valide le leggi di Newton in generale). Una volta individuato un sistema di riferimento di questa classe, per esempio quello che consideriamo immobile, ogni altro sistema in

moto traslatorio rettilineo uniforme rispetto a esso apparterrà alla stessa classe, e anche in questi altri sistemi saranno soddisfatte le leggi di Newton. I sistemi di riferimento privilegiati nei quali valgono le leggi di Newton sono chiamati sistemi di riferimento inerziali o galileiani. In definitiva, l'enunciato del principio di inerzia (alias prima legge di Newton) riportato nella domanda deve essere sostituito dal seguente:

"Esiste una classe di sistemi di riferimento privilegiati rispetto ai quali un corpo non soggetto a forze o è in quiete o si muove di moto rettilineo uniforme".

A questo punto sembrerebbe tutto risolto, senonchè la questione concernente i sistemi di riferimento e il principio di inerzia è più complicata di quel che sembra a prima vista, perché, a un esame più attento, il nuovo enunciato si rivela in parte autoreferenziale. In effetti il problema è ancora più generale, perché l'intera formulazione della dinamica newtoniana contiene delle ambiguità. In primo luogo, le due prime leggi di Newton non sono indipendenti: la prima (scritta in forma compatta:  $F = 0$  implica  $v$  (velocità) = costante) deriva dalla seconda ( $F = m a$ ). In secondo luogo, non possiamo dire che su un corpo agisce (o non agisce) una forza se non facendo uso delle leggi stesse. In questo senso le leggi di Newton sono, almeno in parte, tautologiche.

Definire un sistema di riferimento (SR) senza incorrere in queste ambiguità è una operazione che si sviluppa su livelli di astrazione crescenti. I sistemi di riferimento associati a corpi o a sistemi di corpi sono solo approssimazioni a sistemi inerziali. Immaginiamo che un fisico decida di verificare sperimentalmente le leggi di Newton. A questo scopo definisce un SR fissando l'origine di una terna di assi cartesiani in un angolo del laboratorio. Questo SR (SR del laboratorio) è approssimativamente inerziale. I risultati degli esperimenti, infatti, mostrano degli scostamenti abbastanza evidenti dalle leggi di Newton. Ma il nostro fisico sa molto bene che il laboratorio viene trascinato con la rotazione terrestre, e riconsidera i risultati rispetto ad una terna non rotante fissata al centro della Terra. Egli trova che in questo nuovo SR (SR geocentrico) le leggi di Newton sono verificate assai meglio di prima. Infine considera una terna non rotante posizionata nel centro del Sole e in questo SR (SR eliocentrico) trova risultati in accordo quasi perfetto (ma non completamente) con le previsioni di Newton. Un sistema di riferimento rispetto al quale l'Universo, considerato come un tutto, fosse immobile (SR assoluto) è il miglior sistema inerziale possibile. In questo SR le leggi di Newton sono considerate rigorosamente valide.

Newton aveva identificando questo SR assoluto con lo spazio "sempre uguale e immobile", e aveva formulato le sue leggi in relazione a esso. Le stesse leggi sono valide anche per tutti i sistemi di riferimento in moto traslatorio rettilineo uniforme rispetto al SR assoluto. Però questo significa che il Sole, che ha un'accelerazione piccolissima nel debole campo gravitazionale degli oggetti lontani dell'Universo, non è, a rigor di termini, inerziale e per esso le leggi di Newton non sono rigorosamente valide, anche se gli scostamenti sono minimi. Per la Terra, la cui accelerazione, dovuta al moto di rivoluzione orbitale intorno al Sole, si somma a quella del Sole, gli effetti non-inerziali sono un po' più marcati. Infine, nel laboratorio terrestre si aggiunge a queste accelerazioni anche quella dovuta alla rotazione della Terra intorno al proprio asse, con effetti facilmente riconoscibili dal fisico nei suoi esperimenti. Per lui può essere forse frustrante constatare che in tutti i sistemi di riferimento che può considerare negli esperimenti (Sole, Terra, laboratorio) le leggi di Newton non sono mai del tutto verificate a causa di effetti non-inerziali, ma per fortuna questi effetti sono piccoli e possono essere facilmente corretti applicando le stesse leggi di Newton. Un fisico non ha quindi una effettiva necessità di lavorare con il sistema assoluto di Newton, che del resto è del tutto inaccessibile, e si accontenta di sistemi di riferimento inerziali approssimati. Rispetto a uno di questi, un SR eliocentrico e avente gli assi della terna cartesiana rigidamente collegati con stelle lontane (SR delle stelle fisse), le leggi di Newton sono considerate valide a tutti gli effetti pratici. L'uso di sistemi inerziali approssimati, la cui definizione viene tenuta separata da affermazioni correlate alle proprietà inerziali dei corpi, evita l'autoreferenzialità insita nell'enunciato del principio d'inerzia quale viene di solito riportato nei testi di fisica.

Alcuni riferimenti di base:

- R. Resnick – D. Halliday, *Fisica* (Parte I), Ambrosiana, Milano (1970), pp. 78-79.
- C. Kittel et al., *La Fisica di Berkeley* (Vol 1), Zanichelli, Bologna (1970), pp. 72-78.
- R.P. Feynman et al., *La Fisica di Feynman* (Vol 1), Zanichelli, Bologna (2001), p. 9-1.
- E. Perucca, *Fisica Generale e Sperimentale* (Vol I), UTET, Torino (1963), p. 262.
- E. Amaldi – G. Amaldi, *Corso di Fisica* (Vol 1), Zanichelli, Bologna (1970), pp. 132-134.

Approfondimento:

- I. Santavy, *Newton's first law*, in "European Journal of Physics", 7, 2 (Aprile 1986), pp.132-133.

**A cura di** Pier Franco Nali  
Dirigente con incarico di studio e ricerca  
Regione Sardegna  
Cagliari