

*Forze “apparenti” in sistemi di riferimento accelerati*

La legge di inerzia definisce il campo di applicabilità delle leggi di Newton ai soli sistemi di riferimento “non accelerati”, ossia inerziali. È altresì importante realizzare che, essendo il sistema di riferimento inerziale in pratica non realizzabile se non come buona approssimazione numerica, la comprensione dei fenomeni anche più elementari alla luce delle leggi della dinamica in sistemi di riferimento *non inerziali* è di fondamentale importanza.

Le leggi di trasformazioni di Galilei per sistemi animati di moto relativo rettilineo uniforme conducono al risultato che le accelerazioni misurate dai rispettivi osservatori sono esattamente eguali. Assumendo che anche la massa non cambi per questo tipo di trasformazioni (limite non relativistico), si giunge alla conclusione che la II legge nella forma  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$  resta immutata nella sua validità ed applicabilità. Questo è il principio di relatività classico, ossia un oggetto sottoposto ad una certa forza verrà accelerato in eguale misura in tutti i sistemi di riferimento inerziali.

Diverse sono le conclusioni quando le misure sono compiute da osservatori che vivono in sistemi di riferimento reciprocamente accelerati, cioè non inerziali. In questi casi, le accelerazioni di trascinamento ricavate parlando di cinematica del punto per moti relativi accelerati prevedono che la II legge della dinamica subirà gli effetti di tali accelerazioni. Osservatori reciprocamente non inerziali osservano differenti accelerazioni per cui affidano a forze corrispondentemente diverse la descrizione della dinamica del punto.

Per un sistema di riferimento uniformemente accelerato e rigidamente orientato rispetto un sistema inerziale, la legge di Galileo ci insegna che  $\mathbf{a} = \mathbf{a}' + \mathbf{a}_{\text{rel}}$ , dove  $\mathbf{a}_{\text{rel}}$  è l'accelerazione di “trascinamento” del sistema in “moto” rispetto quello “fisso”. L'osservatore accelerato dunque attribuirà l'accelerazione che rileva,  $\mathbf{a}'$ , alla forza  $\mathbf{F}' = m\mathbf{a}' = m\mathbf{a} - m\mathbf{a}_{\text{rel}}$ , che si scrive usualmente come  $\mathbf{F}' = \mathbf{F} + \mathbf{F}_{\text{app}}$ . In questa espressione,  $\mathbf{F}_{\text{app}}$  vale  $-m\mathbf{a}_{\text{rel}}$ , e rappresenta il contributo “apparente” alla forza “vera”,  $\mathbf{F}$ , che va aggiunto ad essa per ottenere la forza percepita dall'osservatore non inerziale. Il contributo di forza apparente (detta anche fittizia o non inerziale) è, per l'osservatore accelerato, una forza vera e propria, che infatti induce accelerazioni (e forze) misurabili, *ma soltanto nel sistema di riferimento non inerziale*. La forza apparente è tale perché non ha senso parlare di detta forza non appena l'osservazione del fenomeno è riportata al sistema di riferimento inerziale.

A tale scopo può essere d'aiuto considerare il semplice esempio di una persona a bordo di un'automobile che accelera uniformemente secondo un moto rettilineo. La persona è, rispetto un riferimento inerziale (in quiete relativa), accelerata e, necessariamente, soggetta a una forza  $\mathbf{F}$  che, nel caso in esame, è sviluppata da ciò che la vincola all'automobile (la “trascina” con essa accelerandola), dunque presumibilmente il sedile che spinge sul corpo nel verso dell'accelerazione stessa ( $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ ). La persona a bordo (osservatore *non* inerziale) dà una diversa interpretazione. Essa **non è accelerata** ( $\mathbf{a}' = 0$ ), dunque non può essere soggetta a una forza netta, non nulla. È pur soggetta alla forza  $\mathbf{F}$  che sollecita il corpo della persona già rilevata dall'osservatore inerziale (la sua presenza è rilevata, ad esempio, dal fatto che il sedile risulta deformato, le molle compresse, o cose simili). Affinchè risulti  $\mathbf{F}' = m\mathbf{a}' = 0$ , possiamo solo concludere che la persona deve essere soggetta, *nel suo sistema di riferimento*, ad una seconda forza di intensità pari a quella di  $\mathbf{F}$  ma di verso opposto, ossia la forza “apparente”  $-m\mathbf{a}$ , **percepita** dall'osservatore nel momento in cui esso realizza di essere in condizioni di **equilibrio statico rispetto l'automobile** (è spinto “indietro” per “resistere” alla spinta in “avanti” fornita dal sedile!).

È molto importante quindi non relegare le forze “apparenti” al ruolo di effetti secondari: la legge della dinamica è valida *solo* in sistemi di riferimento **inerziali**. Se ci si colloca in riferimenti accelerati, è *necessario* considerare la natura e gli effetti di nuove forze che necessariamente spiegano le accelerazioni di trascinamento presenti in questi riferimenti (sarebbe forse più convincente chiamare “efficaci” tali forze, invece che “fittizie”).

Le stesse conclusioni possono venire tratte quando si considerano accelerazioni associate a moti relativi di tipo rotazionale. Nel caso di un moto circolare uniforme (per esempio un'automobile che procede a velocità "tachimetrica" costante su un tratto di curva a profilo circolare), le osservazioni dinamiche di un osservatore inerziale (in quiete relativa) e quelle di un osservatore a bordo del veicolo saranno sostanzialmente diverse perché i sistemi di riferimento sono accelerati uno rispetto l'altro, assecondando la presenza infatti di un'accelerazione di trascinamento di tipo centrale, di modulo pari a  $\omega^2 r$ . Tale accelerazione si traduce in termini di forza apparente quando trattata nel riferimento solidale con l'automobile. L'osservatore in quiete dice che la persona a bordo del veicolo è sottoposta a una forza *centripeta* che genera l'accelerazione centripeta necessaria a mantenere persona (e automobile) lungo la traiettoria circolare (tale forza, ancora una volta, è generata dal vincolo fisico agente fra la persona ed il mezzo, ad esempio il sedile o la cintura di sicurezza). Nel riferimento *non inerziale* solidale con l'automobile, la persona invece *non è accelerata*, ma subisce, per bilanciare l'effetto della forza centripeta che la tiene vincolata all'automobile, una forza eguale e contraria di carattere *centrifugo*. Tale forza è del tutto **reale** per l'osservatore a bordo del mezzo, tantoché esso ne sperimenterà gli effetti nel caso dovesse perdere l'appiglio con il veicolo (si viene "sbalzati" verso l'esterno della curva). La descrizione di questo fenomeno per un osservatore inerziale è semplicemente quello che asseconda, infatti, la legge di inerzia: la persona che perde l'appiglio con il veicolo non è sbalzata da nessuna parte: *prosegue di moto rettilineo uniforme*, in quanto è ormai un corpo libero, non soggetto a nessuna forza. In caso è il veicolo che, proseguendo nel suo moto curvo, si allontana accelerato dal corpo che lo ha abbandonato.