L'EQUILIBRIO UNIVERSALE
dalla meccanica celeste alla fisica nucleare

– Materia, massa attiva, massa gravitazionale e inerziale, principio di equivalenza e gravitazione universale

Per continuare il nostro studio, abbiamo bisogno, a questo punto, di chiarire i concetti di " **massa** " e " **materia** ", prestando particolare attenzione al fatto che trattiamo comunque aggregati rotanti, mai fermi, dunque in condizioni assolutamente diverse dalla nostra esperienza quotidiana.

Tutte le teorie, anche quelle più accreditate, per massa di un corpo intendono la "**quantità di materia**" di cui esso è costituito, dove il termine materia viene sostanzialmente inteso con il significato preso dal linguaggio comune.

Anche se sull'argomento esistono molti scritti, il significato profondo di questi termini **non è stato mai chiarito**, perchè, probabilmente, " **non è possibile farlo senza sconfinare nella metafisica** ", che necessariamente procede applicando metodi non propriamente scientifici.

Pur senza chiarire il significato, la misurazione della massa viene realizzata, normalmente in due modi :

1 – attraverso la " **resistenza** " che un oggetto oppone quando è accelerato da una forza, secondo la relazione :

$$F = m \cdot a$$ (2° principio della dinamica).

In tale relazione la massa è definita come " costante di proporzionalità tra la forza che viene impressa ad un corpo e l'accelerazione che esso acquista ".

Essa fornisce dunque una misura della " **inerzia della materia** " e viene, per questa ragione, indicata come massa " **inerziale** ".

Anche se la formula viene indicata come legge, **nella realtà essa viene utilizzata come definizione sia per la massa che per la "forza"**, **la quale fisico capace di alterare lo stato di moto di un corpo**".
viene considerata preconfezionata e dunque disponibile come "agente

2059

E’ chiaro che la relazione contiene un vizio, certamente non solo formale, che le impedisce di fornire qualsiasi chiarimento sulla natura delle due grandezze che vi compaiono.

Il vizio era noto a Newton come è noto a tutta la comunità scientifica, **che**, **non avendo possibilità di eliminarlo**, **semplicemente lo ignora**.

2 – Un’altra espressione della massa di un corpo è quella "**gravitazionale**", definita attraverso la sua " **capacità di esercitare forze a distanza su altri corpi** ", ovvero attraverso la " **forza gravitazionale** " che esso esercita.

Per cercare di comprendere il significato che viene attribuito a questa massa, riprendiamo, per sommi capi, il percorso attraverso il quale ha avuto origine.

Sappiamo che un corpo che si muove di moto circolare è sottoposto ad una accelerazione centrifuga :

$$a = \frac{V^2}{R} \qquad \text{dove} \qquad V = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T}$$

e quindi si ottiene :

$$a = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot R$$

se si considera un pianeta di massa m_p , la forza centrifuga che agisce su di esso sarà :

$$F = m_p \cdot a = m_p \cdot \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot R$$

Per la **3ª legge di Keplero**, abbiamo :

$$T^2 = \alpha \cdot R^3$$

e quindi, sostituendo, si ottiene :

$$F = m_p \cdot \frac{4 \cdot \pi^2}{\alpha \cdot R^2}$$

2060

Tale relazione risulta applicabile a tutti i pianeti del Sistema Solare e quindi, essendo m_p ed R le uniche variabili, si ipotizzò che la frazione

$$\frac{4 \cdot \pi^2}{\alpha} = K_s^2$$

comune a tutti i pianeti, fosse "**dipendente unicamente dal Sole**", in quanto esso rappresenta l'unica massa comune interagente.

Il valore della costante K_s^2 diventa così una caratteristica fisica del Sole che esprime la sua capacità di esercitare una forza " gravitazionale " a distanza su tutti i pianeti in orbita.

E' chiaro che stabilire quali particolari caratteristiche solari concorressero a definire il valore della costante K_s^2 , sulla base di osservazioni astronomiche, non era possibile in passato e non lo è ancora oggi, quindi, utilizzando il solo intuito ed il senso comune, si ipotizzò una proporzionalità diretta con la, non meglio definita, " **quantità di materia** M_s ", scrivendo :

$$K_s^2 = G \cdot M_s \,.$$

Con questa nuova ipotesi, l'espressione della forza gravitazionale che il Sole esercita sui pianeti diventa :

$$F_{SP} = \left(G_s \cdot M_s\right) \cdot \frac{m_p}{R^2}$$

Per la **3ª legge della dinamica**, a tale forza, ciascun pianeta ne oppone una di ugual valore e verso opposto :

$$F_{PS} = - F_{SP} \,.$$

Sulla base dell'osservazione che i pianeti sono circondati da satelliti che rotorivoluiscono su orbite analoghe a quelle che essi percorrono attorno al Sole, venne ipotizzata per essi la stessa capacità del Sole di esercitare un'azione gravitazionale a distanza.

Dunque, la forza che un pianeta esercita sul Sole dovrà essere espressa da

2061

una relazione del tipo :

$$F_{PS} = \left(G_p \cdot M_p\right) \cdot \frac{m_S}{R^2}$$

uguagliando le due espressioni, si ricava :

$$\frac{M_p}{m_P} \cdot G_p = \frac{M_S}{m_S} \cdot G_s$$

Nell'analisi che abbiamo richiamato, **ciascuna sfera viene considerata come** " massa passiva di valore m ", **e dunque inerziale**, **quando subisce l'azione gravitazionale esercitata dall'altra e come** una sfera attiva, **alla quale è associata una " quantità di materia "** M , **quando invece genera l'azione gravitazionale che viene subita dall'altra sfera**.

Ciascuna sfera esercita quindi **simultaneamente** un ruolo attivo e passivo.
A questo punto, **qualsiasi generalizzazione comporta scelte arbitrarie**, **che difficilmente si riescono a dimostrare**.

Se, per esempio, si pone : $G_p = G_s = G$

restando sempre nell'ambito del sistema Solare, si ottiene :

$$K^2 = G \cdot M.$$

Questo vuol dire che, quando abbiamo due sfere aventi le quantità di materia M_1 ed M_2 , se si verifica la relazione $K_1^2 = K_2^2$, dovrà necessariamente essere $M_1 = M_2$.

Se le due sfere sono della stessa natura, **questa relazione non pone particolari problemi**, **in quanto**, **indipendentemente dal significato che si attribuisce alla quantità** " M ", **il rapporto**

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{K_1^2}{K_2^2}$$

2062

riferito alla realtà fisica, **ha sempre un significato preciso** .

Quando invece la natura delle sfere non è paragonabile, al confronto si potrà far assumere un significato preciso solo dopo aver definito con chiarezza che cosa si vuole intendere per materia.

Dato che all'epoca di Newton la materia conosciuta era solo quella ordinaria, fatta di atomi neutri, la scelta risultava non solo accettabile, ma quasi ovvia e non poneva particolari problemi.

La scelta di un valore unico della costante **G** implica anche : $\dfrac{\mathbf{M_P}}{\mathbf{m_P}} = \dfrac{\mathbf{M_S}}{\mathbf{m_S}}$

che si può anche scrivere :

$$\frac{m_S}{m_P} = \frac{M_S}{M_P}$$

Non essendo ben definito il significato fisico delle grandezze che vi compaiono, **anche questi rapporti risultano difficilmente dimostrabili**, anche se intuitivamente accettabili, nel caso di materia di una sola natura.

La generalizzazione è stata comunque accettata facendo le seguenti ipotesi arbitrarie :

– G = costante universale indipendente dalla massa, dal punto dello spazio considerato e dalle condizioni di moto della materia interagente.

– $\dfrac{M}{m} = 1$ = principio di equivalenza considerato applicabile a tutta la materia presente nell'universo.

Con queste due ipotesi aggiuntive, si giunge alla legge della " **gravitazione universale** " :

$$F_{12} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$

2063

Questa legge ci dice che due corpi aventi massa inerziale m_1 **ed** m_2 , **posti in qualsiasi punto dell'universo ed in qualunque condizione di moto relativo**, " si attraggono reciprocamente con una forza F_{12} ", **che risulta direttamente proporzionale al valore delle due masse inerziali e inversamente proporzionale al quadrato della distanza che li separa**.

Oltre alle ipotesi dichiarate, **più o meno arbitrarie**, utilizzate per arrivare alla formulazione finale della legge, " **vi sono ipotesi occulte che la relazione non dichiara esplicitamente** ".

La prima ipotesi è che l'azione della forza F si esercita, a distanza, lungo la congiungente i centri delle masse interagenti, **attraverso uno spazio fisico definito vuoto**, per equilibrare una forza centrifuga che viene generata da un moto di rivoluzione proprio della massa in orbita, impresso da un non meglio definito " **impulso iniziale** ".

Si tratta quindi di fenomeni assolutamente indipendenti che risultano, **casualmente**, **perfettamente in equilibrio in tutto l'universo**.

La seconda ipotesi è che l'azione a distanza si trasmetta " istantaneamente " e questo non è possibile in quanto, **affinchè una massa possa accorgersi della presenza dell'altra**, è necessario che tra loro si abbia una interazione attraverso segnali che impiegano un tempo comunque finito per percorrere la distanza che le separa.

Per le distanze che si verificano nell'universo i tempi risultano assolutamente incompatibili con qualsiasi possibilità di comunicazione.

Comunque, indipendentemente da tutte le possibili osservazioni, per rendere operativa la legge, è necessario, a questo punto, determinare il valore della costante G e delle due masse inerziali m.

In base al principio di equivalenza ricordato, **ritenuto universalmente valido**, **per la misurazione di tutte le masse**, anche di quelle attive, gravitazionali, **viene assunto sul nostro pianeta un solo " campione inerziale "**, **fermo**, **sottoposto all'azione gravitazionale terrestre**.

2064

Alla base dell'idea di assegnare il valore della massa ad un corpo qualsiasi rapportandolo al campione depositato, si pone la proprietà additiva delle masse, in base alla quale l'aggregazione di N masse inerziali di valore m_1 produce un corpo avente caratteristiche equivalenti ad una massa di valore dato dalla relazione :

$$m_{eq} = N \cdot m_1 .$$

Questa espressione è certamente ben verificata **sulla Terra** dall'esperienza quotidiana **su tutte le masse inerziali** ed in base al principio di equivalenza viene estesa la sua validità alle altre masse, **che inerziali non sono**.

La validità di questa operazione non è provata e non è possibile farlo, **anzi**, **un esempio del contrario ci viene fornito da tutti gli atomi**.

Infatti, assegnando una massa m_p, m_n, m_e alle particelle di cui è costituita la materia, protone, neutrone ed elettrone, l'esperienza dimostra che la loro unione in aggregati atomici fornisce una massa " **totale** " che, **valutata nelle stesse condizioni**, **risulta diversa dalla somma delle masse costituenti**.

L'additività delle masse, **così definite**, **non è dunque sempre verificata**.

Per superare i problemi che abbiamo messo in evidenza, il primo passo da compiere è quello di dare una chiara ed "**esplicita definizione di materia**", tale da comprendere **almeno tutte le forme** che si manifestano nell'universo che si riesce ad osservare.

Secondo la teoria degli spazi rotanti, che abbiamo proposto, gli aggregati di materia si distinguono dallo spazio fisico circostante solo per la presenza di una loro velocità relativa di scorrimento rispetto allo spazio circostante.

Questa velocità si genera nel momento in cui i costituenti fondamentali dello spazio fisico (**gli elementi spaziali**) si aggregano e definiscono un confine, che li separa dal resto dello spazio.

Materia e velocità relativa rispetto allo spazio fisico nascono dunque insieme e quindi non possono esistere separatamente.

2065

La presenza di un aggregato induce nello spazio fisico **circostante profonde trasformazioni**, **che gli attribuiscono la capacità di imporre in qualsiasi punto precise condizioni di moto a qualsiasi altro aggregato venga posto in esso**, .

Possiamo utilizzare questa capacità come unica caratteristica per definire in maniera precisa ed inequivocabile la materia .

Dato però che questa caratteristica si manifesta in tutto l'universo, qualunque sia il livello di aggregazione considerato, anche in un solo elemento spaziale, **si deve ritenere materia** (naturalmente non organizzata), **anche lo spazio fisico puro**.

Il livello organizzato osservabile **della materia dipenderà invece dagli strumenti d'indagine disponibili**.

Stabilito che intendiamo per materia, e dunque per universo, **tutto lo spazio fisico** presente nello spazio geometrico e accettiamo la sua esistenza come prima ipotesi di lavoro.

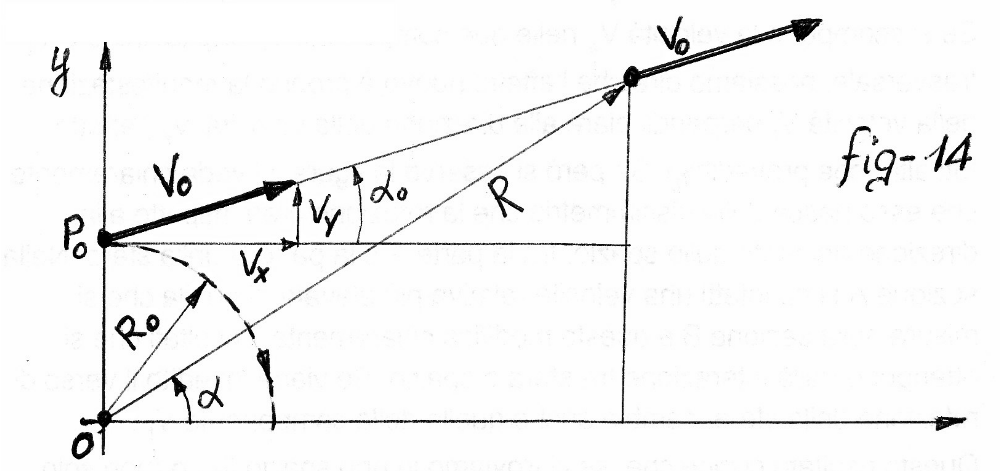
L'esistenza dell'universo non è dunque dimostrabile e, per ragioni che hanno carattere più filosofico che scientifico, che quindi non discutiamo, viene qui accettata per ipotesi.
Si tratta, a questo punto, di definire **il significato** con il quale si usa il termine esistere e quali sono le condizioni che rendono possibile l'esistenza.

Innanzitutto osserviamo che un sistema, formato da almeno due punti, esiste se ciascuno di essi è capace di rilevare la presenza dell'altro.

Perchè questo possa accadere, è necessario che ciascun punto interagisca con lo **spazio fisico** nelle immediate vicinanze e che esso sia sede di azioni generate dall'altro. La condizione necessaria per poter avere l'interazione e la presenza di un moto relativo tra le parti.

Se consideriamo due punti dello spazio posti ad una distanza R tra loro ed in moto relativo con una certa velocità V_0 , possiamo pensare che quello che osserviamo sia **un fotogramma di un sistema in evoluzione**, oppure che si tratti di **un equilibrio stazionario**.

2066



Con riferimento alla figura 14, con i due punti O e P_0 in moto relativo con velocità $V_0 \neq \mathbf{0}$, abbiamo visto che, in assenza di interazioni, l'osservatore posto nell'origine O vede **il punto** P_0 che si allontana con un'accelerazione

$$a_f = \frac{V_{0x}^2}{R} \cdot \mathbf{sen}^2\alpha.$$

I due punti considerati, per poter esistere devono formare un sistema legato, in una condizione stazionaria o quasi.
Se questo non accade essi si allontanano fino alla definitiva indipendenza e cessano così di esistere, come sistema.

Se consideriamo l'intero universo ed applichiamo a ciascuna coppia di punti questo discorso, dobbiamo concludere che, perchè l'universo possa esistere, è necessario che il punto O annulli l'accelerazione osservata a_f , applicando al punto P_0 un'accelerazione dello stesso valore e di segno contrario, ossia rivolta sempre verso il centro O, tale che sia : $a_r = -a_f$

In queste condizioni, l'accelerazione osservata sarà : $a_f = \dfrac{V_{0x}^2}{R}$

ed il punto $\mathbf{P_0}$ si manterrà sempre alla minima distanza :

$$R = R_0 = \mathbf{costante}$$

2067

A questo punto osserviamo però che, mentre l'accelerazione a_f **è fittizia** e quindi incapace di sviluppare lavoro, l'accelerazione radiale a_r **è reale** e ad essa viene opposta dal punto P_0 **la forza reale** :

$$F_r = m \cdot a_r$$

ed il sistema deve dunque soddisfare i principi di conservazione, imponendo i quali si ottiene l'equazione fondamentale, che definisce l'evoluzione di tutto lo spazio fisico, **con la sola condizione che venga verificato il principio di conservazione dell'energia**.

$$V^2 \cdot R = K^2$$

in cui K^2 è una costante caratteristica associata al punto O.
Con questa condizione e l'espressione dell' accelerazione fittizia, possiamo determinare l'espressione dell'accelerazione radiale che il punto centrale O deve applicare a P_0 per avere l'equilibrio stazionario :

$$\left\{ \begin{array}{l} V^2 \cdot R = K^2 \\ a_r = \dfrac{V^2}{R} \end{array} \right\} \text{ da cui si ottiene : } \qquad a_r = \frac{K^2}{R^2}$$

Si ricava così la nota legge che viene verificata **sperimentalmente** in tutti gli spazi rotanti, dalla quale risulta che **l'accelerazione imposta non dipende dal valore della massa in orbita**.

Se nel punto O invece di un solo punto ne consideriamo due identici, poi tre, quattro e così via, sul punto P_0 si manifesterà un'azione doppia, tripla, ecc. ed, essendo rimasto invariato il valore del raggio R , se ne deduce che deve essere aumentato proporzionalmente il valore K^2 nel punto P_0.

Il valore K^2 , benchè misurato nel punto P_0 , dipende unicamente dal " numero dei punti aggregati " nel centro O e dunque dalla quantità di materia ivi presente.

2068

Si può, a questo punto, concludere dicendo che, se un punto P, viene posto alla distanza R da una determinata quantità di materia, per poter restare in equilibrio, dovrà acquisire una **velocità tangenziale** avente un valore tale da soddisfare la condizione :

$$K^2 = V^2 \cdot R\,.$$

Questa relazione si applica a qualsiasi punto dello spazio fisico circostante la materia.
Essa diventa quindi una caratteristica che **lo spazio fisico acquisisce** solo per la presenza della materia nel centro.

Il secondo membro della relazione può essere rilevato in qualsiasi punto dello spazio, senza fare alcuna indagine sulla presenza o meno di materia, con una **particella esploratrice**, sulla quale si manifesta, senza alcun ritardo, l'azione dello spazio rotante generato in precedenza dalla materia **Q.**

Rilevato dunque il valore K^2 , per esempio, per $R = 1\,\mathrm{m}$, tutto lo spazio che si trova in condizione di equilibrio stazionario, verrà descritto dalla relazione :

$$V^2_{eq}(R) = \frac{K^2}{R}$$

Essa rappresenta dunque la velocità di equilibrio di ogni punto dello spazio fisico rotante considerato, **anche se in esso non sono presenti aggregati di materia organizzata**.
La GRAVITA' è una caratteristica dello spazio fisico, **che** viene reso attivo **dalla presenza di materia e si esprime quantitativamente con la condizione di equilibrio** :

$$K^2 = V^2 \cdot R\,.$$

Se abbiamo uno spazio rotante in equilibrio con la sua massa generatrice e in un punto qualsiasi si sostituisce una porzione di spazio puro con un volume uguale di materia ordinaria, dopo la sostituzione, non accade assolutamente nulla. Semplicemente, dove prima c'era **spazio puro in equilibrio**, ora si ha **mataria ordinaria in equilibrio**, con la stessa velocità.

Quello che bisogna capire è che cosa succede **durante il passaggio** da una

2069

condizione di equilibrio all'altra. A tale scopo ricordiamo che, se una massa m, inizialmente a distanza $R = \infty$ dal centro dello spazio rotante, con una velocità $V_\infty = 0$, dunque con energia cinetica $E_\infty = 0$, viene lasciata libera di muoversi, sotto l'azione dell'accelerazione gravitazionale a_r, lentamente cade nel centro.

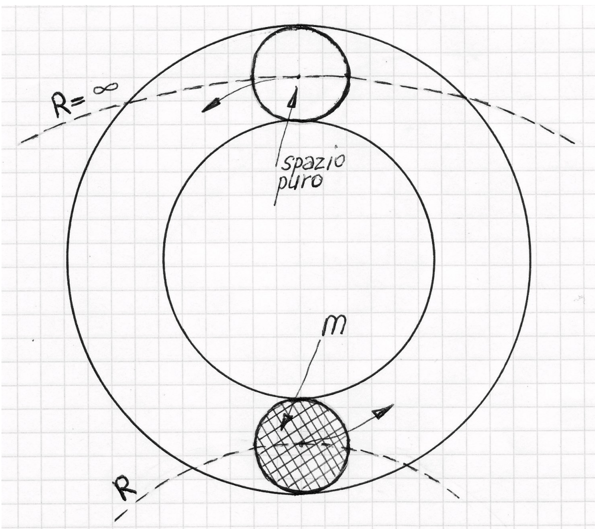
Abbiamo visto che, se si desidera fermarla in equilibrio sull'orbita avente un raggio R, per verificare il principio di conservazione dell'energia, bisognerà fornire un'energia cinetica iniziale uguale al valore dell'energia potenziale che viene associata all'orbita dallo spazio rotante ; dovrà cioè essere soddisfatta la relazione $V_\infty = V_{eq}$, in modo che si abbia :

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_{eq}^2 = \frac{K^2}{R} \cdot m \qquad \text{ossia :} \qquad V_{eq}^2 = \frac{2 \cdot K^2}{R}$$

ancora una volta indipendente dalla massa.

Per semplicità di esposizione, senza cambiare il problema, consideriamo il passaggio inverso, ossia, abbiamo una massa in equilibrio alla distanza R e vogliamo portarla a $R = \infty$.

Essendo lo spazio conservativo, scegliamo arbitrariamente il percorso come è schematizzato in figura.



2070

Se consideriamo inizialmente la massa m formata da spazio fisico puro, uno spostamento verso l'alto, per la **continuità** e la incomprimibilità dello spazio fisico, è accompagnato dallo stesso spostamento verso il basso di un uguale volume.

Lo spostamento verso il basso viene realizzato spontaneamente con l'azione **concorde** dell'accelerazione imposta dallo spazio rotante. Quello verso l'alto si deve realizzare in **opposizione** all'azione gravitazionale e quindi richiede un'accelerazione esterna, che può essere recuperata dal volume in discesa. In questo caso si realizza lo scambio dei due volumi senza richiesta di lavoro dall'esterno.

Se consideriamo il caso reale, con la massa m formata da materia ordinaria, per ottenere lo spostamento verso l'alto, in **opposizione all'accelerazione gravitazionale**, richiede la fornitura di un'energia :

$$dE = - m \cdot a_r \cdot dR = - m \cdot \frac{K^2}{R^2} \cdot dR$$

non ottenibile dalla **massa trascurabile** in moto discendente. Si avrà quindi :

$$d\left(\frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \right) = - m \cdot \frac{K^2}{R^2} \cdot dR$$

da cui, **per qualsiasi massa**, si ottiene l'equazione caratteristica degli spazi rotanti, che non dipende dalle masse presenti :

$$\frac{dV}{V} = - \frac{dR}{R}$$

Tutte queste relazioni sono state ricavate considerando il passaggio di m da una condizione di equilibrio all'altra, attraverso una variazione dR del raggio nella direzione dell'accelerazione a_r .

Se lo spostamento avviene verso il basso, diretto verso il centro, **concorde con direzione e verso** di a_r, il moto si realizza spontaneamente e la massa m , con la riduzione dR del raggio, passa da una posizione di equilibrio alla successiva e quindi, in definitiva, essa risulta in equilibrio su tutto il percorso.

2071

Se vogliamo misurare la massa m , con una bilancia con essa solidale, lungo tutto il percorso, come del resto accade su qualsiasi traiettoria di equilibrio, il valore rilevato sarà zero.

In qualsiasi punto della traiettoria l'energia cinetica E_c della massa m è uguale al valore di equilibrio E_{eq} e gli effetti dell'inerzia si annullano.

Se, con un qualsiasi mezzo esterno, la massa in movimento viene fermata, si ripristina l'azione dell'accelerazione gravitazionale a_r e la bilancia rileverà il valore della massa m_g, che, essendo stata rilevata sotto l'azione del campo gravitazionale, viene indicata come **massa gravitazionale** .

Se ora ci mettiamo fuori dal campo gravitazionale ed applichiamo alla massa m un'accelerazione $a = a_r$, **misurando con gli stessi strumenti e con le stesse modalità**, si ottiene un valore m_i , che viene indicata come **massa inerziale**, in quanto esprime la resistenza che la massa oppone a subire una accelerazione.

Essendo state ricavate entrambe le masse utilizzando la seconda legge della dinamica $F = m \cdot a$, che **non distingue il tipo di azione che genera la variazione della velocità**, si ottiene sempre $m_g = m_i$.

Si enuncia quindi il **principio di equivalenza** , dicendo che, pur essendo due grandezze indipendenti, **casualmente**, la massa gravitazionale ha lo stesso valore di quella inerziale (non potrebbe essere altrimenti).

Ritornando ora alla massa in caduta libera nel campo gravitazionale, se essa viene frenata lentamente, la differza $\left(E_c - E_{eq}\right)$ diminuisce gradualmente e con la **stessa gradualità aumenta il valore della massa che si rileva con la bilancia** (tarata nella condizione $E_c = 0$).

Essa assumerà quindi il valore massimo $m_g = m_i$, quando $E_c = 0$ e quello minimo quando $E_c = E_{eq}$.
Fissato il valore R del raggio dell'orbita, se indichiamo con V_{eq} la velocità

2072

corrispondente alla condizione di equilibrio e con V quella reale della massa in moto sull'orbita, diciamo che l'equilibrio è perturbato da una energia data da $\left(E_c - E_{eq}\right)$ e l'accelerazione che agisce sulla massa sarà :

$$a_r = \left(\frac{V^2}{R} - \frac{K_{eq}^2}{R^2} \right) = \frac{1}{R^2} \cdot \left(V^2 \cdot R - K_{eq}^2 \right) =$$

$$= \frac{1}{R} \cdot \left(V^2 - V_{eq}^2 \right) = \frac{K_{eq}^2}{R^2} \cdot \left(\frac{V^2}{V_{eq}^2} - 1 \right)$$

in definitiva si ha :

$$a_g = a_{eq} \cdot \left(\frac{V^2}{V_{eq}^2} - 1 \right)$$

dove con a_g abbiamo indicato **l'accelerazione gravitazionale** che agisce sulla massa in moto **con velocità tangenziale** V **in un punto dello spazio rotante avente velocità orbitale di equilibrio** V_{eq} **, che viene rilevata da un osservatore in equilibrio sull'orbita.**

Si noti che l'accelerazione rilevata da un osservatore solidale con la massa in movimento è sempre uguale a zero, in quanto anche la bilancia è soggetta alla stessa accelerazione centrifuga.

L'osservatore in equilibrio sull'orbita rileverà invece $a_g > a_{eq}$ se $V^2 > V_{eq}^2$ oppure $a_g < a_{eq}$ se $V^2 < V_{eq}^2$.

Dato che la bilancia misura la forza d'interazione tra **la massa centrale**, **che è rimasta invariata**, e quella in orbita, secondo la relazione :

$$F = - \frac{K_{eq}^2}{R^2} \cdot m$$

2073

essendo K_{eq}^2 ed R invariati, la variazione osservata della forza F verrà associata dall'osservatore a una variazione della massa m.

Egli scriverà dunque l' equazione : $$-\frac{K_{eq}^2}{R^2} \cdot m_g = a_g \cdot m_i$$

dove m_0 indica la massa misurata con la stessa bilancia a riposo ($V = \mathbf{0}$).
Sostituendo a_g , si ricava l'espressione teorica della **massa gravitazionale in funzione dello spazio rotante e della velocità tangenziale**.

$$m_g = m_i \cdot \left(1 - \frac{V^2}{V_{eq}^2} \right)$$

Questa relazione è molto importante, in quanto ci dice che , così come viene accettato, " **il principio di equivalenza è verificato solo nella condizione in cui si verifica $V = 0$ e la massa gravitazionale**, **con il significato dato dalle teorie correnti**, **e una caratteristica dello spazio rotante**.

Notando che per uno spazio rotante in equilibrio la massa gravitazionale vale sempre zero, indipendentemente dalla massa in orbita, e che **assume valori diversi da zero solo quando si verifica una perturbazione rispetto alla condidione di equilibrio**, si può dire che il valore della massa gravitazionale esprime la reazione dello spazio rotante ad una perturbazione esterna, quindi in definitiva la sua inerzia.

Nel senso che abbiamo indicato, la massa gravitazionale è una caratteristica dello spazio rotante e non della materia organizzata. Definiamo quindi come " **fattore d'inerzia dello spazio rotante I_K** " il rapporto :

$$I_K = \frac{m_g}{m_i} = \left(1 - \frac{V^2}{V_{eq}^2} \right)$$

caratteristico dello spazio rotante.

2074

La massa gravitazionale di una massa inerziale sarà quindi dipendente dallo spazio rotante con il quale interagisce secondo la relazione :

$$m_g = m_i \cdot I_K$$

Incidentalmente notiamo che nell'interazione di **particelle elementari** con gli spazi rotanti ordinari si ha sempre $I_K << 0$ e quindi la massa gravitazionale risulta negativa, per cui esse non possono trovare una condizione di equilibrio e si allontanano definitivamente dal centro.

Si deve notare infine che la massa gravitazionale viene misurata in direzione radiale e dipende dalla velocità tangenziale, dunque dal moto nella direzione trasversale rispetto alla misura.
Da non confondere con la massa longitudinale, che si esprime diversamente e misura la massa rilevata nella direzione del moto.

In definitiva, per quanto abbiamo visto, possiamo affermare che :

"**GRAVITA' ed INERZIA**" **non sono caratteristiche proprie della materia organizzata**, **bensì del punto dello spazio fisico da essa occupato ed esprimono la sua capacità di produrre e mantenere una condizione di equilibrio opponendosi a qualunque perturbazione**.

La presenza di queste due caratteristiche nello spazio rotante è condizione necessaria per l'esistenza dell'universo organizzato come lo osserviamo.

La gravità **è dunque l'espressione dello spazio fisico** considerato nel suo ruolo attivo.
Essa viene esercitata dallo spazio rotante, si manifesta imponendo alla sfera planetaria la condizione di equilibrio definita dalla relazione :

$$K^2 = V^2 \cdot R$$

Il valore K^2, che caratterizza il ruolo attivo dello spazio rotante è definito dalla materia Q che lo ha attivato.
Esso può dunque essere associato anche alla materia Q **ed assunto come valore della sua massa attiva ed esprime**, "**quantitativamente**", **la**

2075

sua capacità di esercitare un "ruolo attivo" **nel definire un equilibrio stazionario con lo spazio circostante**.

Per quanto riguarda l'inerzia, abbiamo visto che essa si manifesta quando il moto del punto viene perturbato e non è rilevabile in condizione di equilibrio.

L'INERZIA è quindi una manifestazione della tendenza che presenta lo spazio fisico a conservare l'equilibrio di tutti i suoi punti e si rileva con una massa gravitazionale :

$$m_g = m_i \cdot \left(1 - \frac{V^2}{V_{eq}^2} \right)$$

Anche in questo caso, dato che "la reazione **dello spazio rotante viene esercitata sulla massa che genera la perturbazione**", la quale rappresenta per noi l'oggetto osservato e quindi ci trasferisce direttamente la reazione, è possibile **associare ad essa** la massa gravitazionale come se fosse titolare diretta dell'inerzia.
Il valore m_g **viene assunto così come massa passiva o inerziale della materia** Q **ed esprime**, **quantitativamente**, **la sua capacità di opporsi a qualsiasi perturbazione venga imposta all'equilibrio**.

In base a questa interpretazione, **la** materia è spazio fisico **in moto relativo rispetto allo spazio circostante**.

2076