12 – FORZE E CAMPI

12,1 INTRODUZIONE

La forza peso $\vec{P}$ è stata definita come la formalizzazione e quindi la misura dell'interazione che la Terra esercita su ogni massa, ma può essere giustificata da una legge più generale nota come **LEGGE DI GRAVITAZIONE UNIVERSALE** che vale su scala cosmica (interazioni tra corpi celesti), sulla Terra (Forza Peso) , ma anche su scala locale come interazione tra due qualunque masse, anche se in questo caso il modulo di tale forza risulta praticamente trascurabile rispetto ad altre eventuali interazioni esterne o di contatto (di natura elettromagnetica)

12,2 LEGGE DI GRAVITAZIONE UNIVERSALE

La **Legge di Gravitazione Universale** esprime l'interazione che si manifesta tra due masse, poste ad una distanza che si può esprimere con $\mathbf{r_{1,2}}$,ed è espressa dalla relazione:

$$\boxed{\vec{F}_{1,2} = -G\frac{m_1 m_2}{r_{1,2}^2}\frac{\vec{r}_{1,2}}{r_{1,2}}}$$

che esprime una **forza sempre attrattiva** (si dice anche **forza centrale**), evidenziata dal segno " **-** " .

La relazione ci dice che la Forza è **proporzionale al prodotto delle masse**, **inversamente proporzionale al quadrato della distanza** tra le masse ed è **sempre attrattiva** (segno "-"). Con $\mathbf{r_{1,2}}$ indichiamo la distanza tra le masse e più precisamente la distanza della massa $\mathbf{m_2}$ dalla massa $\mathbf{m_1}$, equivalente al modulo del vettore $\vec{r}_{1,2}$, cioè il vettore che individua la posizione di $\mathbf{m_2}$ da $\mathbf{m_1}$, cioè con origine in $\mathbf{m_1}$. Il termine $\frac{\vec{\mathbf{r}}_{1,2}}{\mathbf{r}_{1,2}}$ è il versore che rappresenta la direzione e il verso di $\vec{\mathbf{r}}_{1,2}$. Per tenere conto del fatto che la forza è sempre attrattiva, cioè $\mathbf{m_2}$ si avvicinerebbe a $\mathbf{m_1}$, pensato come origine e quindi fisso, si introduce il " – ". Il fattore di proporzionalità, che deriva da risultati sperimentali risulta essere una costante, cioè utilizzando masse diverse a distanze differenti tale fattore risulta sempre lo stesso; si chiama **Costante di Gravitazione Universale**, ci indica con **G** e vale:

$$\mathbf{G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{Kg^2}}$$

Come accennato se si valuta il modulo della forza di attrazione gravitazionale tra due masse di 1Kg poste alla distanza di 1 mm troviamo:

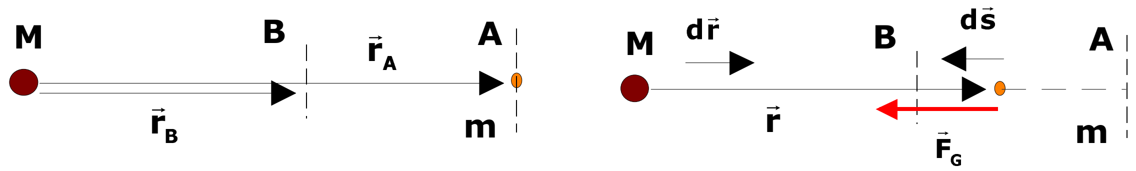
$$\mathbf{F = \frac{6{,}67\, 10^{-11} \cdot 1^2}{10^{-6}} \frac{N \cdot m^2}{Kg^2} \cdot \frac{Kg^2}{m^2} = 6{,}67 \cdot 10^{-5}\, N}$$

assolutamente trascurabile rispetto aalforza di attrazione (pure gravitazionale) dovuta alla Terra, cioè il loro peso che vale 9,8 N.

Si può dimostrare che la **Forza gravitazionale e più in generale una qualunque forza centrale è conservativa.** Non solo ma è comprensibile anche che una **forza centrale ha momento nullo rispetto al punto cui tende, per cui non altera l'eventuale momento angolare, rispetto allo stesso punto, del corpo cui è applicata**.

Consideriamo due masse **M** e **m** e indichiamo con $\vec{\mathbf{r}}_A$ ed $\vec{\mathbf{r}}_B$ i raggi vettori che individuano la posizione di **m** in una posizione iniziale **A** e finale **B**, rispetto ad **M**. In questo modo M e origine del sistema di riferimento e supponiamo di tenerlo fisso; in tal modo costituisce un riferimento inerziale. Queste ipotesi saranno poi del tutto inessenziali.

Valutiamo il **lavoro fatto dalla Forza Gravitazionale** quando m passa **dalla posizione A alla posizione B**.



Con $\mathbf{d\vec{s}}$ indichiamo lo spostamento infinitesimo **nel verso** del moto cioè da **A** a **B**, con $\vec{r}$ è il raggio vettore che individua **m** nella generica posizione tra A e B e con $\frac{\vec{r}}{r}$ indichiamo il versore di questa direzione. Movendoci da A $\rightarrow$ B per uno spostamento $\mathbf{d\vec{s}}$ il raggio vettore $\vec{r}$ diminuisce per cui subisce una variazione **dr** negativa e quindi tenendo conto che $\mathbf{d\vec{s}}$ e nel verso negativo possiamo scrivere $\mathbf{d\vec{s}} = \mathbf{dr}\cdot\frac{\vec{r}}{r}$. Quindi

$$L_{A\to B} = \int_A^B \vec{F}_G \cdot d\vec{s} = \int_A^B \left(-G\frac{M\,m}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}\right)\cdot\left(dr\frac{\vec{r}}{r}\right) = -G\,M\,m\int_{r_A}^{r_B}\frac{\vec{r}\cdot dr\,\vec{r}}{r^4} = -G\,M\,m\int_{r_A}^{r_B} dr\frac{\vec{r}\cdot\vec{r}}{r^4} =$$

$$= -G\,M\,m\int_{r_A}^{r_B} dr\frac{r^2}{r^4} = -G\,M\,m\int_{r_A}^{r_B}\frac{dr}{r^2} = -G\,M\,m\left(-\frac{1}{r}\right)\Bigg|_{r_A}^{r_B} = -G\,M\,m\left(\frac{1}{r_A}-\frac{1}{r_B}\right)$$

Si vede come l'integrale **dipende solamente** dal valore $\mathbf{r_A}$ e $\mathbf{r_B}$. Ciò significa che la **Forza Gravitazionale è conservativa** e quindi possiamo associare ad essa una **funzione scalare Energia Potenziale Gravitazionale**, la cui variazione passando da **A** $\rightarrow$**B** è definita da:

$$\Delta U_G = U_G^{(B)} - U_G^{(A)} = -L_{A\to B}$$

Si deve anche notare che quanto ricavato non dipende tanto dal fatto che **M sia tenuta fissa e ferma** e che l'origine del sistema di riferimento sia fissato in M, ma piuttosto **dalla configurazione che vede m e M distanti r** (indipendentemente che siano ferme o in moto). Può essere utile fissare una **configurazione di riferimento** alla quale assegnare valore dell'**Energia potenziale = 0**. Sarà la configurazione che vede le due masse a distanza tale da non interagire, cioè quando $\mathbf{r_A} \rightarrow \infty$**.** A tale configurazione attribuiamo il valore **U(∞) = 0**.

Utilizzando la relazione precedente dove con **A** indichiamo la configurazione per cui le masse **sono a distanza infinita** (o tale da non interagire) e con **B** la configurazione **corrisponde ad una generica distanza r** tra le masse, possiamo scrivere:

$$\mathbf{U_G(\vec{r}) - 0 = -L_{\infty \rightarrow r} = -\int_{\infty}^{r} \vec{F}_G \cdot d\vec{s} = G\,M\,m \int_{\infty}^{r} \frac{dr}{r^2} = G\,M\,m \left(-\frac{1}{r}\right)\Big|_{\infty}^{r} = G\,M\,m\left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{r}\right)}$$

Quindi l'energia potenziale gravitazionale della configurazione che vede due masse a distanza $\vec{r}$ tra loro, relativa alla configurazione che vede la masse a distanza infinita vale:

$$\boxed{\mathbf{U(r) = -\frac{G\,M\,m}{r}}}$$

Il segno " - " ci dice che l'energia potenziale di una qualunque configurazione con r ≠ ∞ è minore di zero. Ciò è coerente con il fatto che il sistema naturalmente evolve verso la **configurazione di minima energia potenziale** e data la natura attrattiva del forza gravitazionale porta le masse a avvicinarsi : La configurazione di massima energia potenziale è quella con le due masse a distanza infinita .

Si osservi che mentre la forza gravitazionale è inversamente proporzionale all'inverso del quadrato della distanza tra le masse, l'energia potenziale è proporzionale all'inverso della distanza

N.B. L'energia potenziale **U(r)** è una **proprietà dell'intero sistema M + m** nel suo complesso e non possiamo dire quanta di tale energia competa ad una massa e quanta all'altra. Spesso pero si parla di energia potenziale di una massa soggetta alla forza attrattiva dell'altra. Ciò non è del tutto corretto ma è giustificato dal fatto che in questi casi solo una massa si muove a causa del rapporto tra le masse interessate **M/m** >>**1**. La massa che si muove acquista una energia cinetica praticamente pari alla variazione dell'energia potenziale del sistema nel passare da una configurazione ad un'altra.

12,3 CAMPO GRAVITAZIONALE

Esiste un modo diverso ma molto interessante di esaminare l'interazione tra due masse.

L'aspetto fondamentale della Legge di gravitazione universale è che si esercita una **interazione a distanza** tra due masse (o tra più masse che possono essere trattate a due a due), senza che vi sia un contatto diretto.Il concetto di **azione a distanza** non è sempre fisicamente conveniente in quanto presuppone che la perturbazione si trasmetta e giunga istantaneamente, cioè a velocità infinita. In natura però nessun segnale di qualunque natura sia si propaga ad una velocità infinita e la massima velocità di propagazione di un segnale è quella del radiazione elettromagnetica nel vuoto (**c**). Può essere allora conveniente analizzare il fenomeno della propagazione di tale perturbazione in maniera leggermente diversa utilizzando il concetto di **CAMPO** (molto usato nell'elettromagnetismo).

Supponiamo di eseguire la seguente serie di esperimenti ipotetici.

Portiamo una massa m_0 in un punto dello spazio che supponiamo vuoto da altre masse. Potremo osservare che tale massa rimane in quiete in una qualunque posizione la si ponga. Verificato ciò supponiamo di **fissarla rigidamente** in una posizione qualunque in modo che non possa eventualmente muoversi. Portiamo adesso una **seconda massa m** nelle vicinanze di $\mathbf{m_0}$, per esempio nella prima posizione in cui avevamo posto m_o. Osserveremo adesso che la massa m si muoverà. Possiamo dedurre che la presenza di m_0 ha modificato le proprietà dello spazio nel punto in cui ho m (prima m_0 non si muoveva, adesso m si muove; è cambiato qualcosa).

Questa perturbazione dello spazio prodotta da $\mathbf{m_0}$ si definisce CAMPO (GRAVITAZIONALE) di $\mathbf{m_0}$ e proprio grazie a tale CAMPO farà sentire la sua presenza ad ogni eventuale altra massa messa nelle sue vicinanze, attirandola con una certa forza; sarà dunque un **campo vettoriale**. Potremmo fare una **mappatura dello spazio** attorno a $\mathbf{m_0}$ misurando la forza che essa esercita sulla massa m (massa esploratrice), che sarà attrattiva radiale, cioè:

$$\vec{F} = -G \frac{m_0\, m}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

Il segno " – " dice che la forza è attrattiva avendo fissato come positivo il verso radiale uscente.

Si definisce **INTENSITA' DEL CAMPO** **la Forza per unità di massa**. Nel caso gravitazionale possiamo definire il **CAMPO GRAVITAZIONALE** di una massa **M** mediante il vettore

$$\boxed{\vec{G}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}_G}{m} \qquad \vec{G}(\vec{r}) = -G \frac{M}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}}$$

La cui intensità vale:

$$G \frac{M}{r^2}$$

Il vettore $\vec{G}$ è una funzione del punto, ovviamente dipende dalla massa ed è inversamente proporzionale al quadrato della distanza da M del punto in cui si vuole valutare il campo. In ogni punto dello spazio potremmo mettere una etichetta che rappresenta il vettore campo gravitazionale.

Il **CAMPO è una proprietà della massa M** che lo crea. In questo modo la mappatura dello spazio attorno a M **può essere calcolata a priori**. Nel caso gravitazionale diciamo anche che il **CAMPO E' CONSERVATIVO** (deriva da una forza conservativa)

12,4 POTENZIALE DEL CAMPO GRAVITAZIONALE

Introdotto il concetto di Campo, riprendiamo la definizione di differenza di energia potenziale U(r) relativa ad una certa configurazione. Ricordiamo che nel caso in cui solo una massa si possa muovere possiamo dire che l'energia potenziale della configurazione equivale anche all'energia potenziale della massa in movimento. Avevamo scritto:

$$\mathbf{U_B - U_A = - L_{A\to B} = - \int_A^B \vec{F}_G \cdot d\vec{s}}$$

e se dividiamo i vari termini per m otteniamo:

$$\mathbf{\frac{U_B - U_A}{m} = \frac{\Delta U_G}{m} = - \int_A^B \frac{\vec{F}_G}{m} \cdot d\vec{s} = - G M \left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A} \right)}$$

La quantità

$$\frac{GM}{r}$$

si definisce **POTENZIALE del CAMPO** (che deve essere conservativo) e si indica convenzionalmente con **V (è una grandezza scalare funzione di $\vec{r}$)** Possiamo definire la **differenza di potenziale** tra due punti del campo creato da una massa mediante la relazione:

$$\boxed{\mathbf{V_B - V_A = - \int_A^B \vec{G} \cdot d\vec{s}}}$$

Analogamente a quanto fatto per l'energia potenziale, **se fissiamo zero il valore di V all'infinito** possiamo definire il **potenziale in un punto P qualunque a distanza $\vec{r}$ dalla massa che crea il campo** mediante la relazione:

$$\mathbf{V}(\vec{\mathbf{r}}) = -\int_{\infty}^{P} \vec{\mathbf{G}} \cdot d\vec{\mathbf{s}}$$

che rappresenta il **lavoro, cambiato di segno, della forza gravitazionale per unità di massa per portare la massa esploratrice dal punto P, a distanza $\vec{r}$ dalla massa che crea il campo, all'infinito dove il potenziale è = 0**. E' ovviamente una **funzione scalare del punto**.

In questo modo possiamo fare una mappa dello spazio attorno ad una massa attribuendo ad ogni punto il corrispondente valore del potenziale definito come in precedenza e quindi **da un campo vettoriale possiamo passare ad un campo scalare**.

E' opportuno osservare che la **Forza Gravitazionale $\vec{F}_G$** tra due masse e la corrispondente **Energia Potenziale Gravitazionale U_G** **sono una proprietà di una certa configurazione**. Il **Campo Gravitazionale $\vec{G}(\vec{r})$** e l'associata funzione scalare **Potenziale $V(\vec{r})$** **sono invece proprietà del campo**

La definizione di potenziale, data per il caso gravitazionale, è però del tutto generale e può essere applicata a tutti i casi di **CAMPO CONSERVATIVO**. E' opportuno far notare che il **concetto di CAMPO** può essere introdotto tutte le volte che si manifesta una interazione a distanza tra due proprietà della materia (la massa da cui il Campo Gravitazionale; la carica elettrica, da cui il campo Elettrico Elettrostatico; il Momento Magnetico da cui il campo Magnetico) dette **SORGENTI DEL CAMPO**. Non necessariamente tutti i campi sono conservativi. Per esempio il Campo Magnetico non è conservativo e in tal caso potremo ancora definire il campo vettoriale ma non potremo associare ad esso una funzione potenziale scalare. Va osservato che solo ciò che può essere sorgente di un campo può essere a sua volta influenzato da un analogo campo; per esempio una massa non verrà mai influenzata da un Campo elettrico o Magnetico.

L'utilità del concetto di **CAMPO** e, soprattutto nel caso di campo conservativo di potenziale del campo, consiste nel fatto che in generale data una certa **sorgente del campo** (massa o carica , ecc..) e la sua distribuzione spaziale (geometria e forma della sorgente, non sempre a simmetria sferica soprattutto nel caso elettrico o magnetico) è possibile attraverso le regole dell'analisi valutare a priori il **campo vettoriale** in ogni punto dello spazio. Tale Campo, **operativamente definito come la FORZA sull'unità di SORGENTE**, lo possiamo pensare esistente indipendentemente dal fatto di avere altre masse o cariche o quant'altro, nello spazio circostante. Nel caso poi di campi conservativi, una volta noto il Campo (funzione del punto) possiamo valutare il potenziale ad esso associato. In tal modo possiamo priori valutare quale sarà l'energia potenziale di una eventuale massa posta in un certo punto del campo (o carica nel caso di Campo Elettrico elettrostatico) e quindi anche il lavoro esterno necessario a realizzare una certa configurazione di masse o cariche.

Facciamo ancora riferimento esplicito al caso gravitazionale e riferiamoci in particolare al **CAMPO GRAVITAZIONALE della Terra**. Ha senso definire il Campo Gravitazionale della Terra, supposta una sfera di raggio $\mathbf{r = R_T}$ (R_T = Raggio medio della Terra = 6.37 10^6 m) per punti che si trovano a distanza $\mathbf{r} >$ $\mathbf{R_T}$ dal centro della Terra. Possiamo dire allora che il **Campo Gravitazionale della Terra** è dato da :

$$\vec{\mathbf{G}}(\vec{\mathbf{r}}) = -\,\mathbf{G}\,\frac{\mathbf{M_T}}{\mathbf{r^2}}\,\frac{\vec{\mathbf{r}}}{\mathbf{r}} \qquad\qquad \mathbf{r} \geq \overline{\mathbf{R}}_{\mathbf{T}}$$

Risulta funzione della distanza del punto in cui si vuole valutare, dalla superficie del Terra (**r = $\overline{R}_T$ +h,** h è la quota rispetto alla superficie della Terra); si misura in :

$$\frac{N \cdot m^2}{Kg^2} \cdot \frac{Kg}{m^2} = \frac{N}{Kg} = \frac{Kg \cdot \dfrac{m}{sec^2}}{Kg} = \frac{m}{sec^2}$$

che corrisponde ad una accelerazione ; è proprio l' accelerazione di gravità $\vec{g}$ che compare nell'espressione della **Forza Peso**, che in realtà non è costante ma dipende dalla quota. La **Forza Peso** $\vec{P}$ non è altro che l'interazione del Campo del Terra con la massa m, cioè è la Forza Gravitazionale tra la Terra e la massa m con $r_{1,2} \cong R_T$.

Consideriamo allora una massa **m che si sposta da un punto A** sulla superficie della Terra ad un **punto B a quota h** dalla Terra. Indicando con **dr** il modulo dello spostamento infinitesimo $d\vec{s}$ nel verso da A → B e con **G(r)** il modulo (l'intensità) del **Campo Gravitazionale** che abbiamo visto essere diretto verso la Terra, cioè opposto a $d\vec{s}$, possiamo scrivere:

$$\Delta U_{A\to B} = U_B - U_A = m \cdot \Delta V(\vec{r}) = - m \int_{R_T}^{R_T+h} \vec{G}(\vec{r}) \cdot d\vec{s} = m \int_{R_T}^{R_T+h} G(r)\, dr =$$

$$= m \int_{R_T}^{R_T+h} G\, M_T \frac{dr}{r^2} = m\, G\, M_T \left[- \frac{1}{r} \right]_{R_T}^{R_T+h} = m\, G\, M \left[\frac{1}{R_T} - \frac{1}{R_T + h} \right] =$$

$$= \frac{m\, G\, M_T}{R_T} \left[1 - \frac{1}{1 + \dfrac{h}{R_T}} \right]$$

Poichè **$h/R_T \ll 1$** ricordando che $(1 + x)^{-1} \cong 1 - x$ per $x \ll 1$, possiamo scrivere:

$$\Delta U_{A\to B} = U_B - U_A = \frac{m\, G\, M_T}{R_T} \left[1 - \left(1 - \frac{h}{R_T} \right) \right] = \frac{m\, G\, M_T}{R_T^2} \cdot h = m\, g\, h$$

essendo

$$\frac{\mathbf{G\,M_T}}{\mathbf{R_T^2}} = \mathbf{g\,(R_T)} = \mathbf{g} = \mathbf{9.8}\,\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{sec^2}}$$

il valore dell'accelerazione di gravità sulla Terra .

Abbiamo così ritrovato, attraverso la definizione di Campo, che una massa allontanandosi di h dalla superficie della Terra **acquista una Energia Potenziale = mgh** . Correttamente osserviamo che $\Delta \mathbf{U_{A \to B}} > \mathbf{0}$ e quindi la **Forza del Campo ha fatto un lavoro negativo** . La massa è potuta salire solo perchè qualche altra Forza esterna gli ha permesso di sollevarsi, o perchè possedeva una certa Energia cinetica con velocità verso l'alto.

Consideriamo una massa che inizialmente si trova ad una distanza molto grande dalla Terra tale da non esserne influenzata, quindi in quiete. Imprimiamole con un leggero impulso una certa velocità iniziale verso la Terra in modo che si sposti dalla posizione di equilibrio e **facciamo in modo che si sposti con la stessa velocità** fino ad un punto a distanza **r** dalla Terra. Ciò significa che la massa passa da un punto in cui ha Energia Potenziale

$$\mathbf{U(\infty) = m\,V(\infty) = 0}$$

ad un punto in cui possiede una certa Energia Potenziale

$$\mathbf{U(r) = m\,V(r) < 0}$$

e quindi m subisce una $\Delta \mathbf{U} < \mathbf{0}$ (quindi la **Forza del Campo compie un Lavoro Positivo)**.

Ci potremmo chiedere a vantaggio o a scapito di chi subisce questa variazione di Energia potenziale?. Ricordiamo che la massa andrebbe naturalmente dall'infinito al punto a distanza r, perché evolverebbe verso una posizione a minor Energia Potenziale e quindi di maggior Equilibrio. Muovendosi in un campo conservativo, dovrebbe necessariamente acquistare una certa Energia Cinetica pari alla diminuzione dell'Energia Potenziale. Se ciò non avviene significa che deve esserci un'altra Forza esterna al campo che trattiene la massa in modo che la sua accelerazione sia nulla e che quindi compie un Lavoro Negativo (è una forza frenante**). Il Lavoro positivo del campo è proprio uguale al Lavoro negativo della Forza esterna**. Se consideriamo il Sistema "Massa che crea il campo + massa in moto + agente Esterno" , possiamo dire che **la Forza esterna fa un Lavoro negativo spese dell'energia Potenziale del Sistema**.

Esiste un'altra Proprietà della materia, la CARICA ELETTRICA, che se **opportunamente sollecitata** si manifesta con una interazione formalmente analoga a quella Gravitazionale.

La Carica Elettrica si manifesta sotto **due forme**, convenzionalmente definite come **Carica Positiva** (quella del Protone) e **Carica Negativa** (quella dell'elettrone). Nel sistema Internazionale si **misura in Coulomb (Cb)**, ed è una delle 7 grandezze **fondamentali**

L'interazione tra Cariche Elettriche puntiformi (o schematizzabili tali) viene formalizzata attraverso una **Forza** di **direzione radiale** e che risulta **attrattiva se avviene tra cariche di segno opposto e repulsiva quando si manifesta tra cariche di uguale segno**.

Tutto ciò viene sintetizzato nella **Legge di Coulomb** che può essere formalizzata nel modo seguente:

$$\vec{F}_{q_1,q_2} = k \frac{q_1\, q_2}{r_{1,2}^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

dove q_1 e q_2 sono le due cariche puntiformi, $\vec{r}$ e la distanza tra di loro (o tra i loro centri nel caso di corpi cariche a simmetria sferica) e **k** è una costante dimensionata positiva, Nel caso in cui le cariche siano nel vuoto

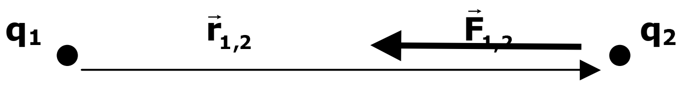
$$\vec{F}_{q_1,q_2} = k \frac{q_1\, q_2}{r_{1,2}^2} \frac{\vec{r}}{r} \qquad k = \frac{1}{4\,\pi\varepsilon_0} \approx 9{,}9\;10^9\, \frac{N\,m^2}{Cb^2}$$

E′ **IMPORTANTE** premettere che per il **momento ci si riferisce a quelle che vengono dette INTERAZIONI ELETTROSTATICHE**, cioè tra cariche istantaneamente ferme (ma non necessariamente non soggette ad accelerazione).

In particolare se si vuole indicare la **Forza che la carica q_1 esercita sulla carica q_2** ,entrambe positive o entrambe negative, ci mettiamo in un sistema di riferimento solidale con q_1,

dove $\vec{r}_{1,2}$ è il raggio vettore che individua la posizione della carica 2 rispetto alla 1. La forza $\vec{F}_{1,2}$ risulta **parallela** a $\vec{r}_{1,2}$ e quindi **repulsiva**

Nel caso in cui le due **cariche siano di segno opposto**



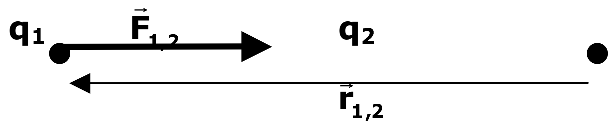
la forza risulta anti-parallela $\vec{r}_{1,2}$ e quindi **attrattiva**

Ovviamente per la III[a] Legge della Dinamica la Forza che la carica q_2 **esercita sulla carica q_1** sarà sempre uguale e contraria a quella che q_1 **esercita sulla carica q_2**, cioè:

$$\vec{F}_{q_2,q_1} = -\vec{F}_{q_1,q_2}$$

per cariche dello stesso segno

Per cariche di segno opposto



Si può anche dimostrare che la **Forza Elettrica Elettrostatica è CONSERVATIVA**

Come per il caso gravitazionale possiamo interpretare l'interazione tra cariche, **non** come una **interazione carica- carica** ma come **interazione carica – campo.**

La carica perturba lo spazio circostante creando un **CAMPO ELETTRICO** (ELETTROSTATICO), definito **operativamente come la Forza che agisce sull'unità di carica** posta nelle sue vicinanze. Convenzionalmente si indica con:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}_{El}(\vec{r})}{q_0}$$

assolutamente vera solo se q_0 indica una carica esploratrice in modo sia da non alterare esse stessa il campo dell'altra carica ma anche da poter individuarne la posizione mediante il raggio vettore $\vec{r}$. Il campo risulta un campo radiale e il **vettore campo** risulta **diretto verso la carica che crea il campo se questa è negativa e nel verso opposto se questa è positiva**.

Convenzionalmente il Campo Elettrico Elettrostatico e un generale un **campo** si rappresenta nello spazio attraverso quelle che si definiscono **LINEE DI FORZA**, cioè delle **linee orientate** che rappresentano le **traiettorie seguite da una carica positiva** posta nel Campo stesso. Punto per punto il **Vettore Campo Elettrico è tangente alle linee di Forza**. Pertanto le Linee di Forza risulteranno divergenti dalle cariche positive e emergenti dalle cariche negative.