

Il concetto di forza

Delimitare e generalizzare

Significato originario

- ◆ Inizialmente statico (in fisica)
"Sforzo fisico", "Forza muscolare"
- ◆ Contrasto a resistenza, o a tendenza, al moto
- ◆ Legato alla descrizione di situazioni di equilibrio, meglio comprese nell'antichità
- ◆ Per lungo tempo, erroneamente considerata necessaria allo stato di moto (Aristotele)

Luci e ombre della statica antica

- ◆ Statica antica: abbastanza sviluppata (regole di costruzione architettonica, uso di macchine semplici)
- ◆ Errori famosi
(Galileo giovane: sull'architettura dell'Inferno)
- ◆ Spunti moderni
(Galileo vecchio: sulle leggi di scala)
- ◆ Nebbia metafisico-teologica: molti diversi significati di forza (fisico, teologico, morale,...) arbitrariamente considerati intercambiabili

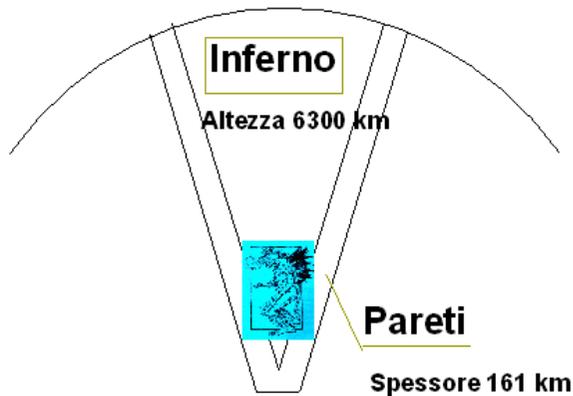
Inferni e mega-cavalli



Cupola di Brunelleschi

Altezza 91 m

Spessore struttura 2.25 m



La tenuta delle strutture di sostegno scala con l'area della sezione, la massa da sostenere con il volume

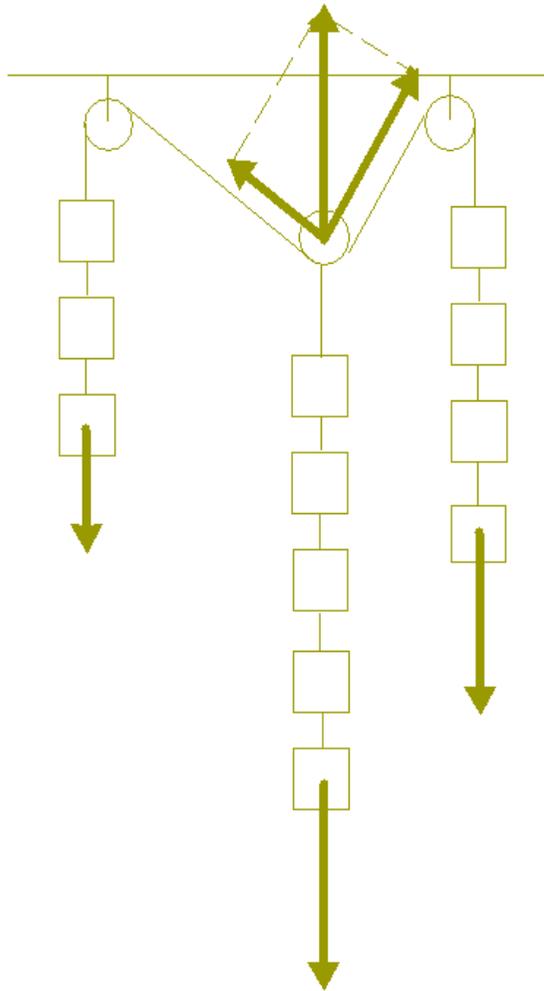
Forze nella statica

- ◆ Ricerca di condizioni di equilibrio (edifici)
- ◆ Ricerca di metodi di movimentazione (masse)
- ◆ Carattere direzionale delle forze statiche
- ◆ Leggi di composizione delle forze
- ◆ *Condizione generale: oggetti materiali nel campo gravitazionale della Terra*
- ◆ *"Alto" e "basso", idee fissate dalla gravita'*
- ◆ *Il calcolo vettoriale: una invenzione moderna*
- ◆ *Prima: componenti, poi quaternioni, infine vettori*

Definizione statica di forza

- ◆ Agente che determina deformazioni
- ◆ Permette di definire campioni, di stabilire relazioni di uguaglianza e disuguaglianza, operazioni sulle forze
- ◆ Caso tipico: forza peso
- ◆ *Corpi elastici e deformazioni*
- ◆ *Es: molla+massa*
- ◆ *Corpi rigidi: caso limite*
- ◆ *Cosa e' "realmente" una forza?*
- ◆ *Domanda non fisica*
- ◆ *(Newton: Hypotheses non fingo)*
- ◆ *Non e' necessario "sapere cosa sia" per ragionarci su*

Pesi e carrucole



La legge di composizione delle forze e' un fatto sperimentale...

Quella dei vettori e' un fatto matematico...

Se la legge e' la stessa, le **forze** sono **vettori** !!

Le definizioni operative

- ◆ Grandezza fisica definita da:
 - proprietà = leggi fisiche
 - metodo di misura
- ◆ Non c'è bisogno di più di questo per usare l'idea per interpretare, scoprire o predire nuovi fenomeni

◆ **Forza**

Grandezza vettoriale

← non basta l'intensità, ci vuole anche la direzione (cfr. massa)

Leggi della dinamica

← necessarie e sufficienti a definire cosa sia la forza

Metodo di misura

← es bilancia (statico) o altro

Operativismo e assiomatica

Analogie e differenze

Matematica

“la scienza in cui non si sa di cosa si sta parlando, ne' se cio' che si dice e' vero” (o meglio, reale)

Unica cosa importante e' la coerenza interna e il rigore logico, non l'aderenza alla realta' di principi e conseguenze

Fisica

“la scienza in cui non si sa di cosa si sta parlando, ma cio' che si dice e' vero” (o meglio, reale)

Due cose importanti:
aderenza alla realta' di principi e conseguenze
rigore logico

La natura delle forze statiche

- ◆ Forze normalmente presenti nei problemi di statica
Gravita', contatto, elastiche, reazioni vincolari, attriti
- ◆ Gravita': manifestazione della forza *gravitazionale*,
che interviene nelle interazioni fra masse
Interazione gravitazionale: forza fondamentale
- ◆ Contatto, elastiche, reazioni vincolari, attriti:
manifestazioni della forza *elettromagnetica*, che
interviene nelle interazioni fra cariche elettriche
Interazione elettromagnetica: forza fondamentale

Moti celesti: Copernico

- ◆ Descrizione dei moti dei pianeti molto semplificata se si assume che il Sole sia fermo al centro e i pianeti ruotino attorno ad esso (Terra inclusa)
- ◆ In linguaggio moderno: cambiamento vantaggioso del sistema di riferimento
- ◆ Importanza capitale in fisica
- ◆ Nessun accenno alla dinamica

Moti terrestri e celesti : Keplero

Considerati differentemente

terrestri: imperfetti, necessitano di forze per sussistere
celesti: perfetti, capaci di sussistere per virtu' divina

Per secoli, culturalmente impossibile accomunarli

Passo fondamentale: Keplero

Il moto (celeste) dei pianeti e' descritto da leggi diverse da quelle credute, nelle quali si manifesta l'imperfezione (Circonferenze → ellissi; velocita' non costante)

Galilei: principio di relativita'

- ◆ Svolta fondamentale, dopo Copernico
- ◆ Quiete = Caso particolare di moto
- ◆ Quiete = Moto con velocita' nulla
- ◆ Unificazione: le proprieta' dello stato di quiete sono casi particolari di quelle dello stato di moto
- ◆ *Concetto qualitativo di limite*
- ◆ *Esempio: $v \rightarrow 0$*
- ◆ *Ossia: Caso limite*
- ◆ *Quando un corpo e' fermo?*
Esempi:
volo di insetti o piccoli uccelli dentro una nave
treno visto da un altro treno
barca vista da un'altra barca
Quale e' fermo??
- ◆ *Non c'e' una risposta che non sia ambigua*

Dalla statica alla dinamica

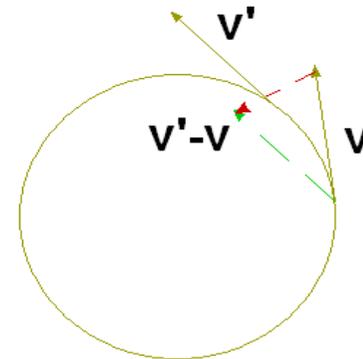
- ◆ Statica = Caso particolare della dinamica
- ◆ Le leggi della dinamica generalizzano quelle della statica
- ◆ Non sorprendente: il moto, e la quiete, sono relativi
- ◆ La stessa idea di forza usata in statica e' utile in dinamica
- ◆ *Poiche' in molti casi non possiamo dire chi e' fermo e chi e' in moto, non possiamo costruire leggi fisiche diverse per corpi in quiete e corpi in moto*
- ◆ *Quindi nei due casi devono valere le stesse leggi*

Galilei: principio di inerzia

- ◆ Altra svolta decisiva
- ◆ Osservazione sperimentale
 - Non e' necessaria l'azione di forze per mantenere lo stato di moto rettilineo e uniforme di un corpo*
- ◆ Sistemi inerziali: definizione un po' tautologica (dal punto di vista logico), operativamente accettabile (forze conosciute)
- ◆ *Necessari in alto grado:
Spirito di osservazione
Capacita' di astrazione*
- ◆ *Nuovi esempi di caso limite:
attriti $\rightarrow 0$
forza $\rightarrow 0$*

Huygens, l'inganno dell'intuizione

- ◆ Il moto circolare uniforme e' davvero uniforme?
- ◆ L'apparenza inganna: il moto e' accelerato perche' la direzione della velocita' cambia ! L'accelerazione (*centripeta*, appunto) e' diretta verso il centro
- ◆ Scoperta di importanza capitale: i moti celesti sono ancora piu' imperfetti...



Anche qui, necessario concetto di limite

Newton: finalmente, la legge

- ◆ Contributo fondamentale:

$$\mathbf{F} = d\mathbf{p}/dt$$

Essenzialmente, la definizione di forza più generale

- ◆ \mathbf{p} è la *quantità di moto* del corpo (← misura la capacità del corpo di mettere in movimento altri corpi – cfr. urti)
- ◆ Definizione: $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$
→ (se $m = \text{cost}$): $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$

- ◆ *Concetto di limite*

- ◆ *Necessario inventare il calcolo differenziale per rendere l'idea rigorosa (← velocità istantanea)*

- ◆ *Ogni volta che, in un riferim. inerziale, la q.di m. di un corpo varia, sul corpo agisce una forza*

- ◆ *Urto: fenomeno di interesse generale. Fondamentalmente, ogni interazione elementare avviene per "collisioni"*

- ◆ *Massa: proprietà di ogni corpo*

- ◆ *Sistemi a massa variabile: razzo*

La relativita' delle forze

- ◆ Legge fondamentale della dinamica: identica in tutti i riferimenti inerziali
- ◆ Le cose cambiano in rif. non inerziali. Per mantenere formalmente valida la legge:
aggiunta di forze "inerziali"
oppure
reinterpretazione di dp/dt

- ◆ *Esempio:*
riferimenti rotanti
Accelerazioni extra rispetto a rif. non rotanti
→ *Forza centrifuga*
→ *Forza di Coriolis*
- ◆ *Non vere forze, ossia:*
non presenti in tutti i riferimenti

La Forza per eccellenza

- ◆ Newton, la Luna e la mela: identità di **gravita'** e **gravitazione**
- ◆ Unificazione di moti celesti e terrestri
- ◆ Le leggi del moto all'opera: spiegazione immediata delle leggi di Keplero
- ◆ Il moto di pianeti, satelliti, comete non e' piu' un mistero: **la forza gravitazionale e' la forza centripeta di Huygens..**
- ◆ $F = G \frac{MM'}{r^2}$
- ◆ *Valida per corpi "puntiformi" e non (Terra)*
- ◆ *Newton invento' il calcolo integrale per dimostrarlo*
- ◆ *Fatto curioso: la quantita' M , caratteristica di ogni corpo, non richiede una nuova proprieta': e' identica alla massa di $p = mv$*

Trionfi newtoniani

- ◆ Diventa possibile misurare la massa della Terra, della Luna, del Sole, ...
- ◆ Sviluppo impetuoso della meccanica celeste
- ◆ Scoperta di nuovi pianeti, satelliti, pianetini, comete
- ◆ Meccanicismo
- ◆ *Per non parlare di astronautica, satelliti artificiali, uomini sulla Luna, sonde interplanetarie, telescopi spaziali etc*
- ◆ *Oggi il meccanicismo e' passato di moda, si parla piuttosto di riduzionismo*

Estensione dell'idea iniziale

- ◆ Forza gravitazionale:
non richiede contatto
- ◆ Tuttavia, non contraddice
i canoni della definizione
operativa (statica)
- ◆ La definizione statica di
forza si estende in modo
naturale al caso dinamico
- ◆ *Nuova idea: spazio vuoto
come supporto alle
interazioni fra i corpi*
- ◆ *Aspetti poco chiari:
Azione a distanza
Azione istantanea*

L'origine della gravitazione

- ◆ Legge di gravitazione universale (Newton): non discende da un particolare principio
- ◆ Basata su fatti sperimentali (moti celesti)
- ◆ Verificata in laboratorio (statica)
- ◆ Identita' misteriosa di m_G e m_I
- ◆ Valore: conformita' a principi generali di simmetria, capacita' di correlare fenomeni apparentemente diversi
- ◆ Validita': limitata, per quanto molto estesa. Sostituita da teoria einsteiniana della gravitazione, piu' generale e assai piu' complicata

Forze elettriche

- ◆ Non ci sono effetti vistosi su larga scala
- ◆ Indagine iniziale legata a curiosità sulla struttura della materia
- ◆ Introduzione di una nuova proprietà dei corpi: **carica elettrica**
- ◆ Similarità e differenze rispetto a gravitazione
- ◆ *Perché? In natura, corpi macroscopici tipicamente scarichi o quasi*
- ◆ *Similarità: dipendenza dalla distanza*
- ◆ *Differenza: due tipi di carica*

Forze magnetiche

- ◆ Considerazioni simili
- ◆ Prime osservazioni dovute a casi molto particolari (ferromagnetismo)
- ◆ Non necessitano di introdurre nuove proprietà dei corpi
- ◆ Caratteristiche diverse: non collinearità, dipendenza dalla velocità
- ◆ *Non esistono cariche magnetiche isolate*
- ◆ *Forza non conservativa*
- ◆ *Non compie lavoro sulle cariche*

Dalle forze ai campi

- ◆ Inizialmente, una forma di "stenografia" o "modello"
- ◆ Sia per la forza gravitazionale, sia per quelle elettromagnetiche, vantaggioso modellare le interazioni come
 - massa \Leftrightarrow campo gravitazionale \Leftrightarrow massa
 - carica \Leftrightarrow campo elettromagnetico \Leftrightarrow carica
- ◆ Problema si sposta da calcolo diretto della forza a:
 - Calcolo del campo generato da masse o cariche
 - Calcolo della forza che il campo esercita su altre masse o cariche

Elettromagnetismo: Maxwell

- ◆ Elettricità e magnetismo: indizi di relazione, entrambi legati alla carica elettrica
- ◆ Campi elettrici e magnetici si mescolano nel passare da un rif. inerziale ad un altro
- ◆ Sono parte di un'unica entità, il campo elettromagnetico
- ◆ *Non esistono cariche magnetiche*
- ◆ *La trasformazione dei campi elettrici e magnetici non è quella delle forze newtoniane*
- ◆ *Alcune delle idee base su spazio e tempo devono essere cambiate*

Il campo senza cariche

- ◆ Scoperta fondamentale di Maxwell
- ◆ Fra i diversi modi in cui il campo e.m. puo' realizzarsi, ne esistono esempi in cui non e' richiesta la presenza di cariche!
- ◆ La luce e' uno di questi casi
- ◆ Si apre una nuova finestra sul mondo naturale: lo studio e lo sfruttamento della radiazione e.m.
- ◆ Il concetto di campo non e' piu solo un utile ausilio, ha una sua realta' fisica indipendente
- ◆ Analoga situazione per la gravitazione (di Einstein)