

Dinamica: Forze e Moto, Leggi di Newton

- La *Dinamica* studia il moto dei corpi in relazione il moto con le sue cause: *perché* e *come* gli oggetti si muovono.
- La causa del moto è individuata nella presenza di interazioni fra corpi che si manifestano come *Forze*
- Il moto dei corpi è determinato dalle *Leggi di Newton*

Prima Legge di Newton

La prima legge di Newton descrive cosa succede *in assenza di interazioni*:

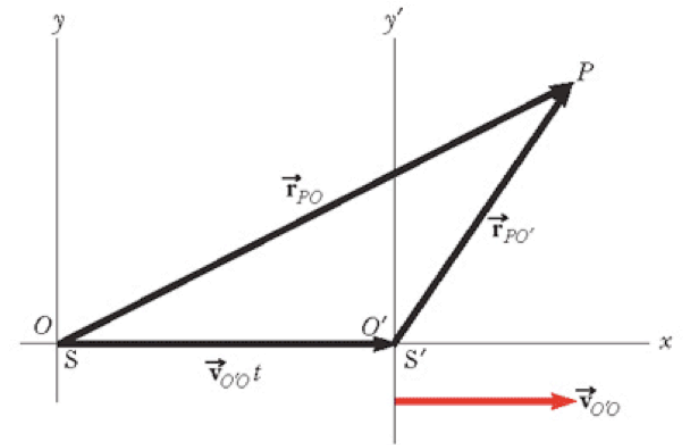
- Per un oggetto non interagente con altri oggetti, è sempre possibile identificare un sistema di riferimento, detto *inerziale*, nel quale l'oggetto ha accelerazione nulla.
- In assenza di interazioni con l'esterno, un oggetto *permane nel suo stato di quiete o di moto a velocità costante*, se osservato da un sistema di riferimento inerziale

Nota anche come *Principio di Inerzia*.

Sistemi di riferimento inerziali

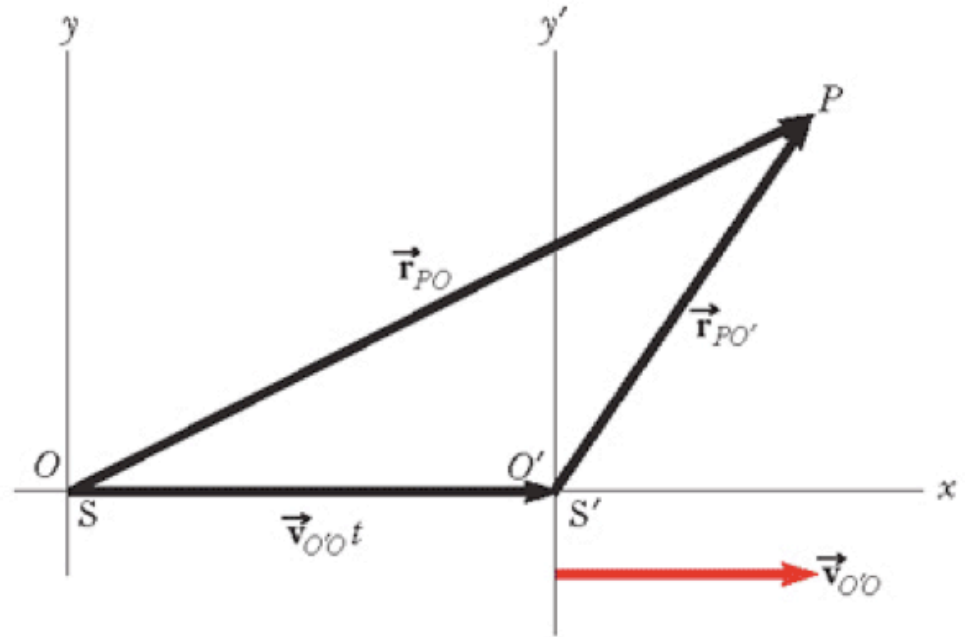
La prima Legge di Newton definisce i *sistemi di riferimento inerziali*.

- Qualunque sistema di riferimento che si muova con velocità costante relativamente ad un sistema di riferimento inerziale è pure un sistema inerziale (trasformazioni di Galilei)
- Un sistema di riferimento che si muova con velocità costante relativamente alle stelle lontane può essere considerato con buona approssimazione inerziale
- Possiamo considerare la Terra un sistema inerziale, benché abbia una piccola accelerazione dovuta al suo moto



Trasformazioni di Galilei

- Il sistema di riferimento \mathcal{S} è *stazionario*
- Il sistema di riferimento \mathcal{S}' è in movimento con velocità \vec{v}_0 *costante*



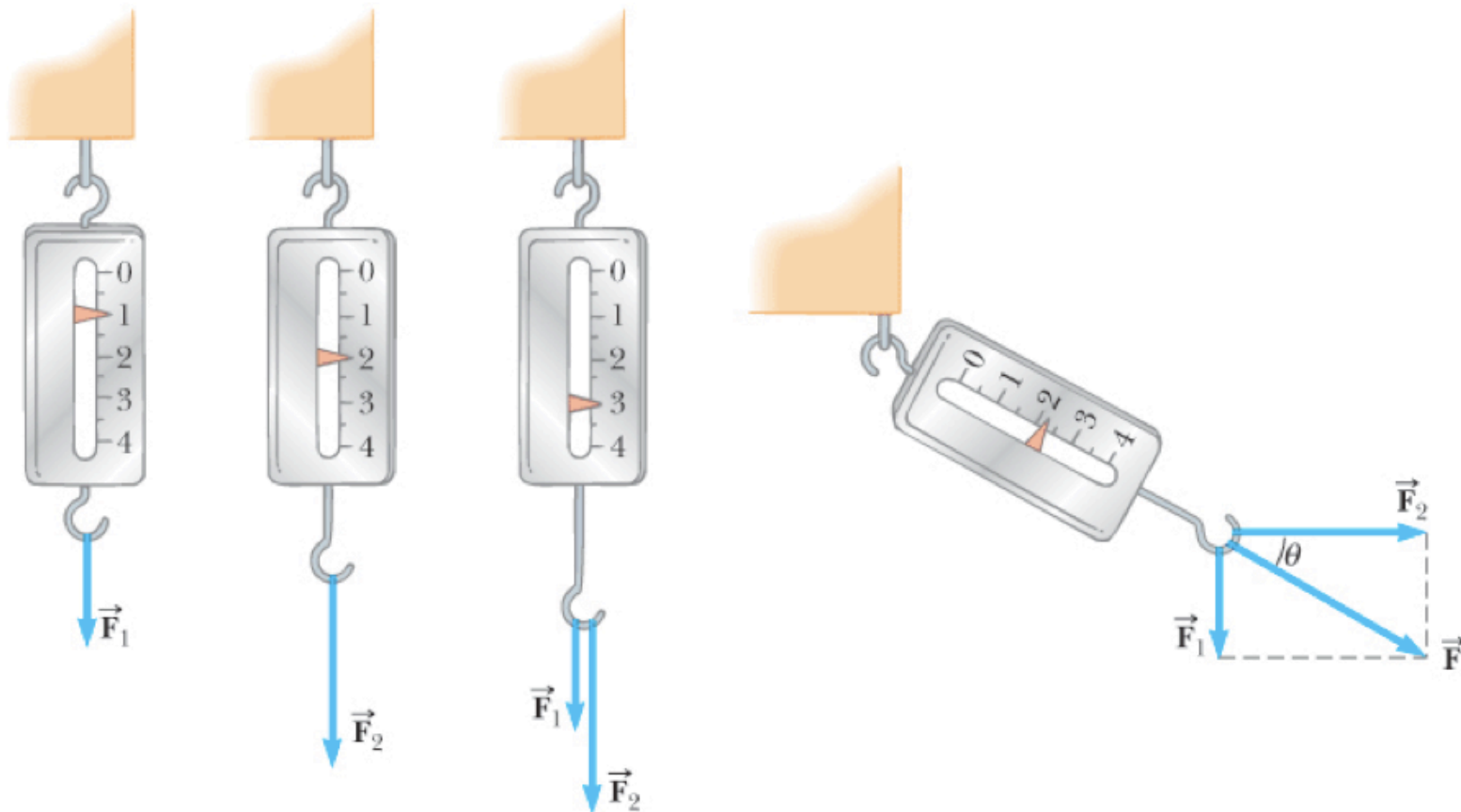
- Al tempo $t = 0$ le origini di \mathcal{S} e \mathcal{S}' coincidono. Vale: $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}_0 t$
- Derivando tale relazione: $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0$ (*trasformazione di Galileo*)
- Derivando nuovamente: $\vec{a} = \vec{a}'$ perché \vec{v}_0 è costante

Forze

- Lo stato “naturale” di moto degli oggetti è essere in quiete, oppure in moto rettilineo uniforme
- Sono le *Forze* che cambiano questo stato
- Possiamo distinguere le Forze in
 - *Forze di contatto*: conseguenza del contatto fisico fra due oggetti
 - *Campi di forze*: agiscono tramite lo spazio, senza contatto fisico(notare che a livello microscopico, esistono solo campi di forze)
- Tipi di Forze: *peso, reazione vincolare, tensione, attrito, elastica,...*
(notare che a livello microscopico, esistono solo quattro tipi di forze: *elettromagnetica, gravitazionale, nucleare forte, nucleare debole*)

Misura delle Forze

- Si può usare una molla per calibrare la grandezza di una forza
- Le forze sono *vettori*: bisogna usare le regole per l'addizione di vettori per trovare la forza totale (detta *risultante*) agente su di un oggetto



Inerzia e Massa

- La tendenza di un oggetto a resistere a tentativi di cambiare la sua velocità è chiamata *inerzia*.
- La *Massa* è quella proprietà di un oggetto che specifica quanta resistenza un oggetto oppone ai cambiamenti della sua velocità
- La Massa è una proprietà *intrinseca* di un oggetto: non dipende da cosa circonda l'oggetto, né dal metodo usato per misurarla
- La Massa è una quantità *scalare*. L'unità SI per la Massa è il kg.

Seconda Legge di Newton

- L'accelerazione di un oggetto è *direttamente proporzionale alla forza totale* che agisce su esso, *inversamente proporzionale alla sua massa*.
 - La forza è quindi la causa del *cambiamento* del moto, e questo è misurato dall'accelerazione
- Formulazione matematica: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$, dove \sum è la sommatoria delle forze agenti sull'oggetto.

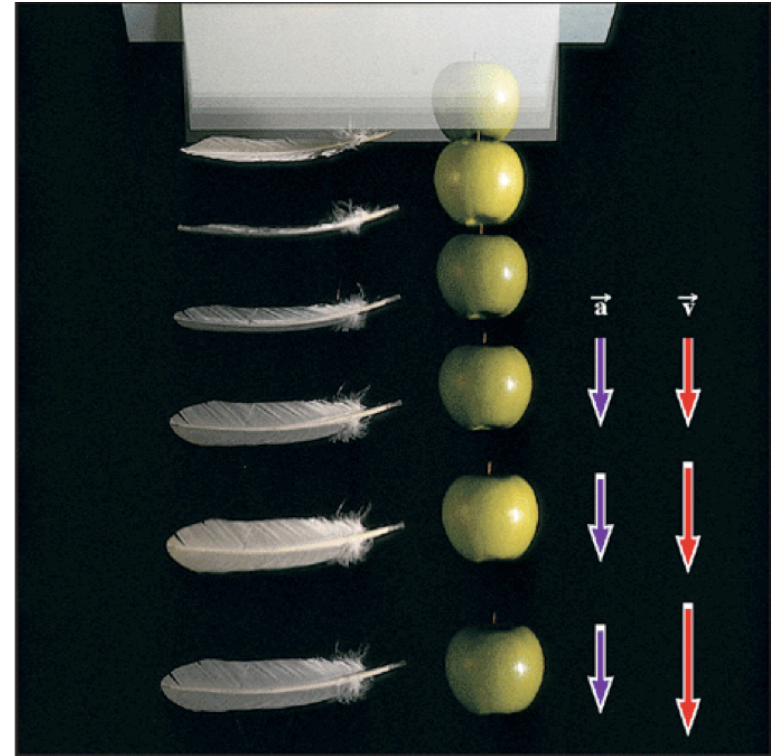
In componenti: $\sum F_x = ma_x$, $\sum F_y = ma_y$, $\sum F_z = ma_z$.

- Unità: $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$, che nel sistema SI è chiamato newton (N).

Forza peso

- La *forza peso* è dovuta all'attrazione gravitazionale che la terra esercita su tutti i corpi
- Vicino alla superficie terrestre, un corpo di massa m risente di una forza peso \vec{P} diretta verso il centro della terra:

$$\vec{P} = m\vec{g}$$



L'accelerazione dovuta alla gravità è *indipendente dalla massa del corpo* (vedere la II Legge di Newton)

Massa e peso

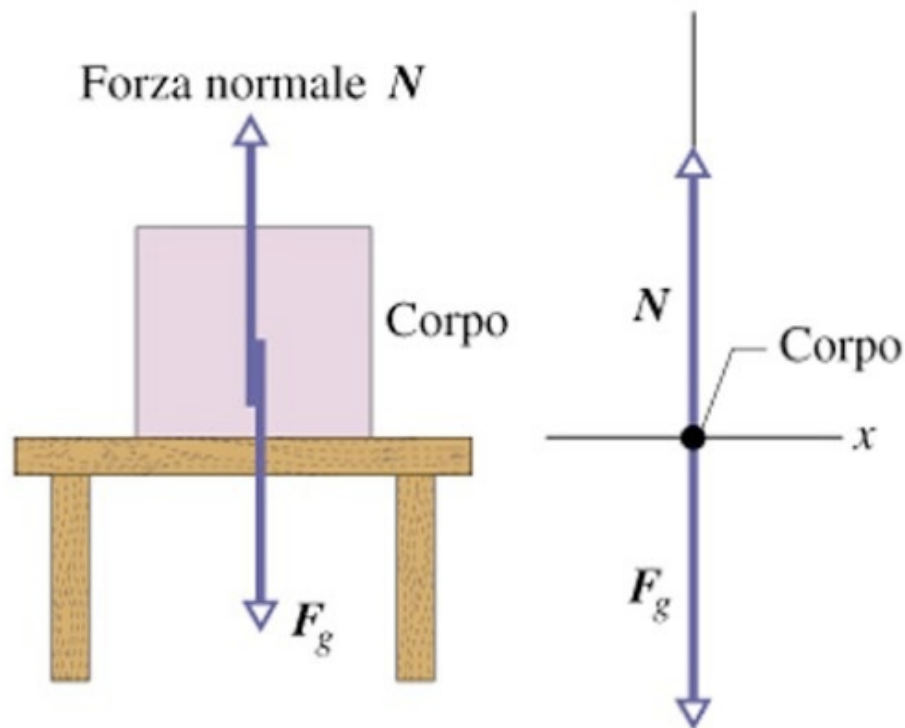
La massa e quello che chiamiamo “peso” sono due quantità differenti!

- Il peso è uguale alla grandezza della forza gravitazionale esercitata su di un oggetto
- Il peso varia da luogo a luogo
- La massa di un oggetto è sempre la stessa dappertutto

Sono invece uguali la massa *gravitazionale* e la massa *inerziale* (ovvero: la massa che appare nell'espressione della forza di gravità è uguale alla massa che appare nella seconda legge di Newton)

Forza normale (o reazione vincolare)

- Quando due corpi entrano a contatto essi esercitano l'uno sull'altro *forze di contatto*
- Se le superfici dei corpi sono prive di attrito, le forze di contatto sono dirette sempre *normalmente* (=perpendicolarmente) ad esse



Oggetti in Equilibrio

- Se l'accelerazione di un oggetto, modellizzato come una particella, o come punto materiale, è nulla, si dice che l'oggetto è *in equilibrio*.

- Matematicamente: la forza totale agente su di un oggetto in equilibrio è nulla, quindi

$$m\vec{a} = \sum \vec{F} = 0$$

ovvero

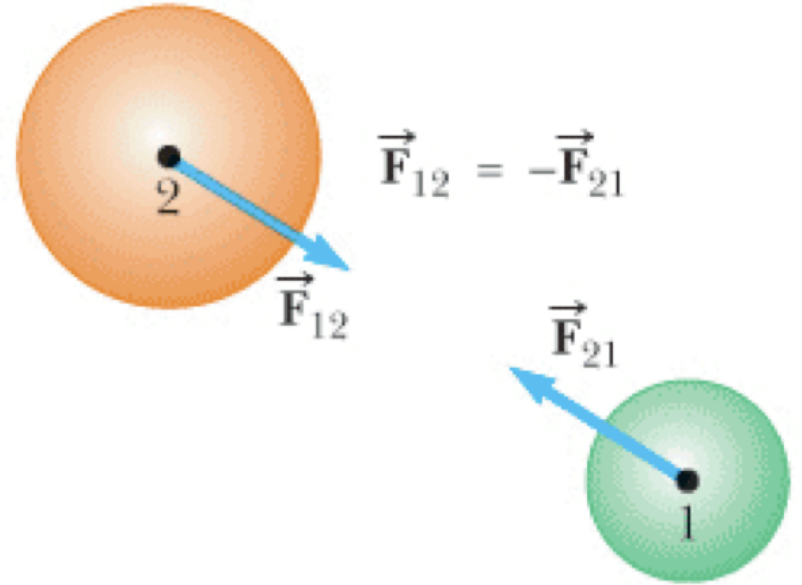
$$\sum F_x = \sum F_y = \sum F_z$$

- Siamo in presenza di un problema di *Statica*.

Terza Legge di Newton

Se il corpo 1 esercita sul corpo 2 una forza \vec{F}_{12} , il corpo 2 esercita sul corpo 1 una forza di modulo e direzione uguale e verso opposto:

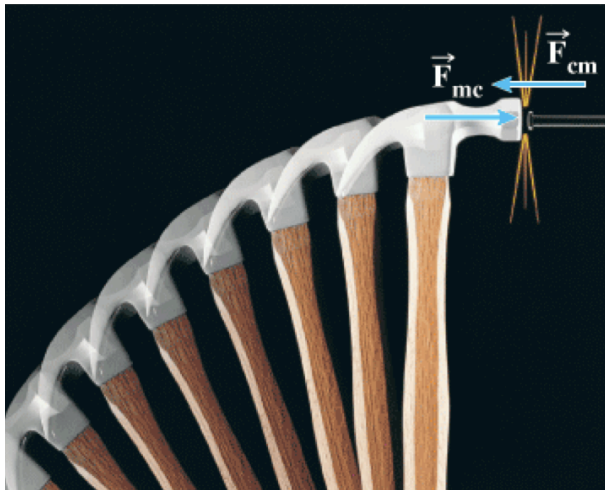
$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$$



\vec{F}_{12} e \vec{F}_{21} formano una *coppia di azione e reazione*. Il significato profondo della terza legge è che le forze sono dovute ad *interazioni fra i corpi*:

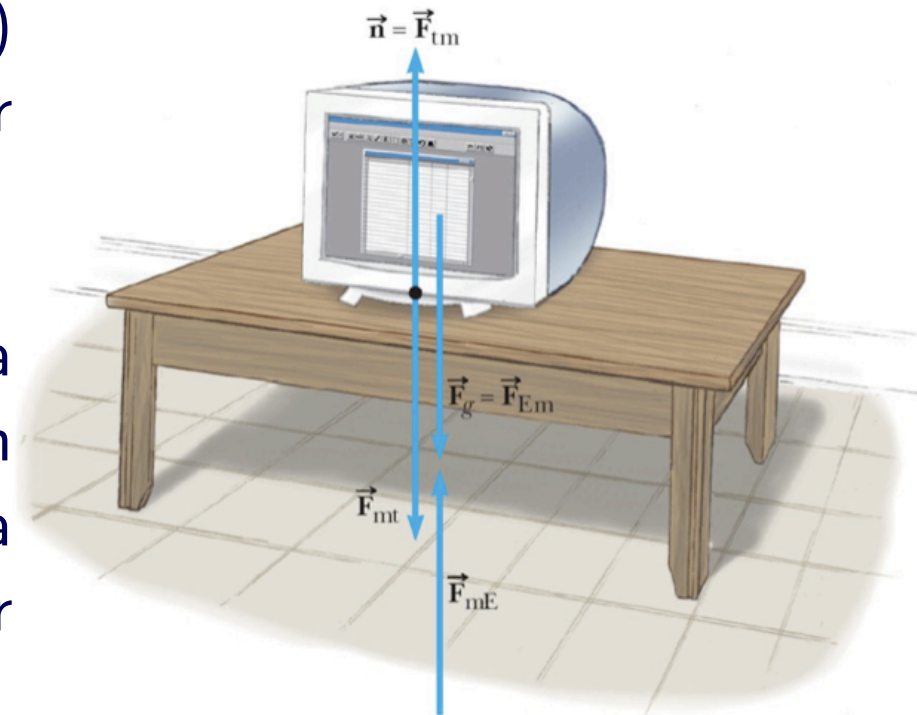
- Le forze sono sempre presenti a coppie
- Una forza singola isolata non può esistere
- Le forze di azione e di reazione agiscono su oggetti *differenti*

Esempio di coppie di Azione e Reazione



La forza che il martello esercita sul chiodo è uguale e contraria alla forza che il chiodo esercita sul martello; lo stesso vale per la forza che il chiodo esercita sul muro e viceversa

- La forza normale (tavola sul monitor) è la reazione alla forza che il monitor esercita sul tavolo
- La forza (di azione) che la Terra esercita sul monitor è uguale in grandezza e opposta in direzione alla forza (di reazione) che il monitor esercita sulla Terra



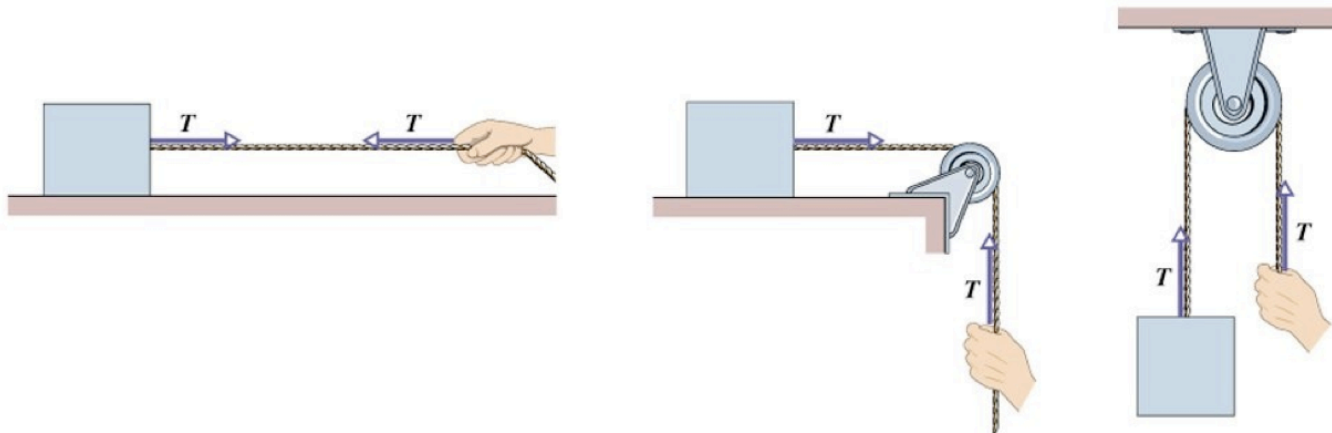
Applicazioni delle Leggi di Newton

Assunzioni:

- Gli oggetti possono essere modellizzati come particelle
- Fili e corde hanno comportamento ideale
- Consideriamo (per ora) superfici senza attrito

Fili e corde: Tensione

- Una corda tesa è in grado di trasmettere una forza al corpo al quale viene fissata: tale forza è detta *tensione*
- La tensione è sempre diretta come la corda ed è applicata al punto di attacco della corda stessa
- Una corda *ideale* ha massa trascurabile ed è *inestensibile*
- In una corda ideale, la tensione viene trasmessa inalterata da punto a punto della corda stessa

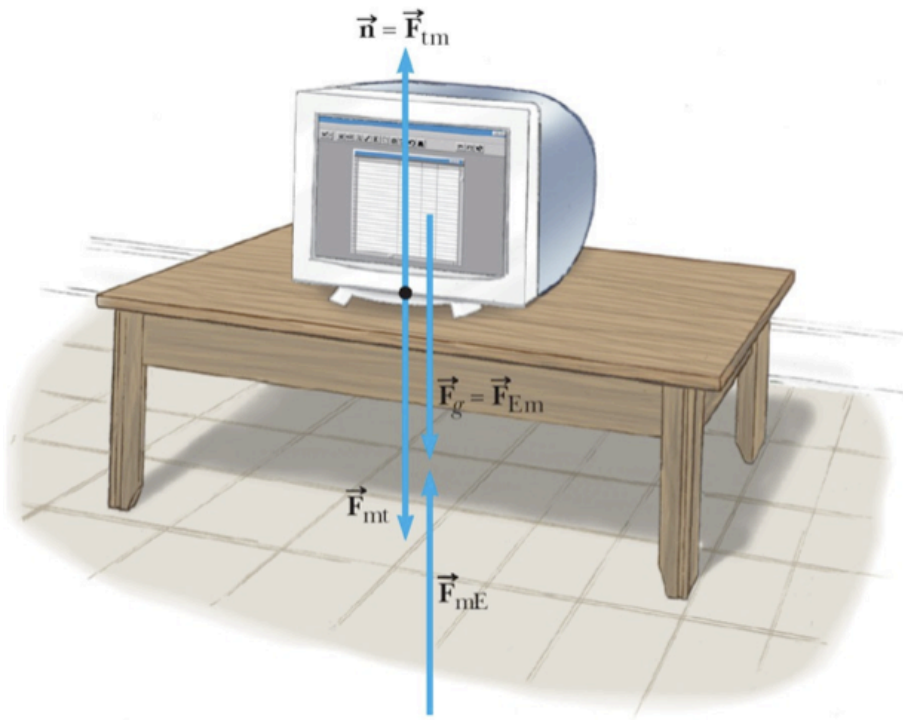


Come risolvere problemi di dinamica

- Schematizzare il problema – fare un diagramma
- Analizzare e classificare il problema:
 - Equilibrio ($\Sigma \vec{F} = 0$) o Seconda Legge di Newton ($\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$)?
- Disegnare *diagrammi di corpo libero* per ogni oggetto, *includendo tutte e sole le forze che agiscono su quell'oggetto!*
- Scegliere un sistema di coordinate appropriato;
assicurarsi che le unità siano consistenti;
applicare la o le equazioni appropriate in forma di componenti;
risolvere per la o le incognite.
- Verificare la consistenza dei risultati con i diagrammi di corpo libero;
verificare i casi limite.

Diagramma di Corpo Libero

In un diagramma di corpo libero, si raffigurano *solo le forze che agiscono su di un particolare oggetto*.

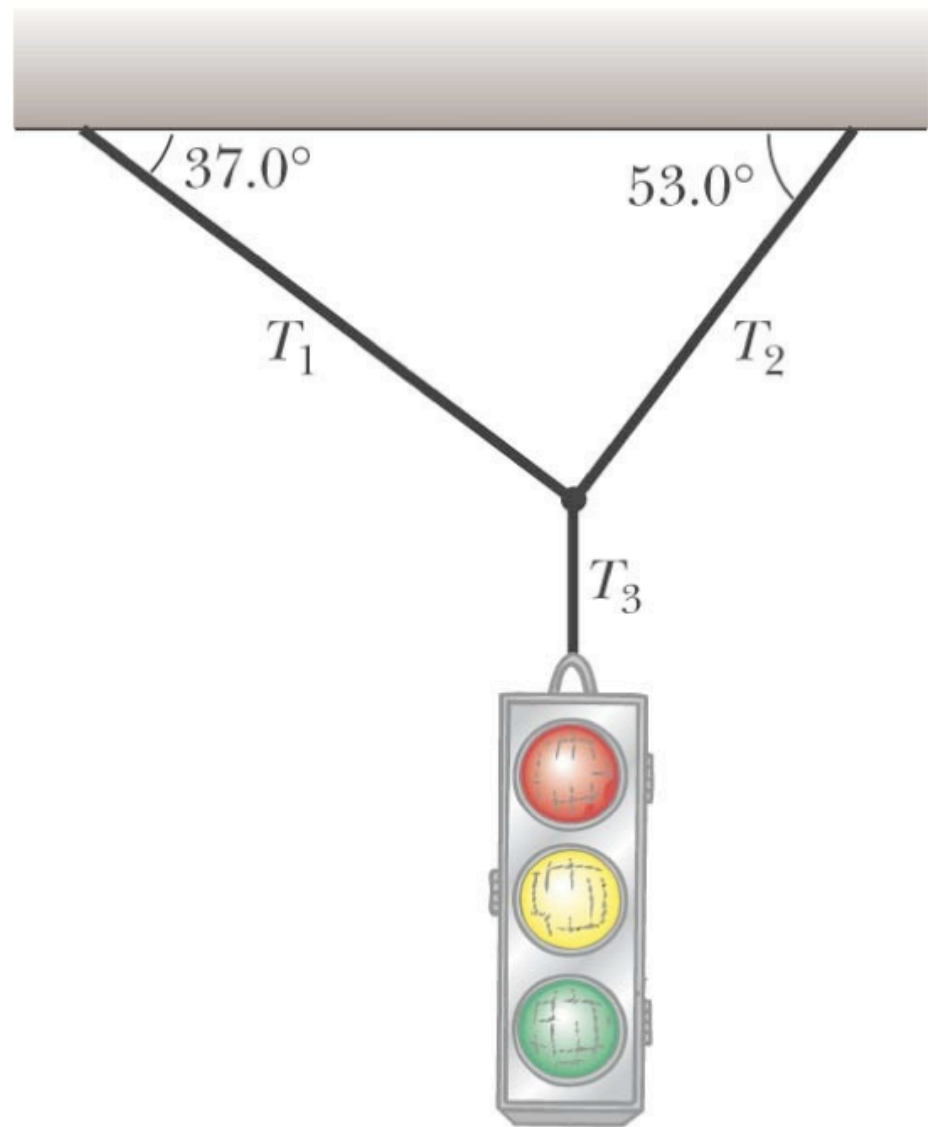


Esempio: la forza normale e la forza di gravità sono le *sole* forze che agiscono sul monitor. Tutte le altre forze in gioco agiscono su *altri oggetti*

Esercizio: equilibrio

Semaforo di peso 122N; i cavi 1 e 2 si rompono se la forza eccede 100N: si romperanno?

- Schematizziamo il semaforo
- Classifichiamo come problema di equilibrio (nessun moto, accelerazione nulla)
- Analizziamo il problema: servono due diagrammi di corpo libero, uno per il semaforo e uno per il nodo



Esercizio: equilibrio (2)

- Equazione di equilibrio per il semaforo: $T_3 = F_g = 122 \text{ N}$
- Applichiamo l'equazione di equilibrio: $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{T}_3 = 0$ al nodo, ovvero, in componenti:

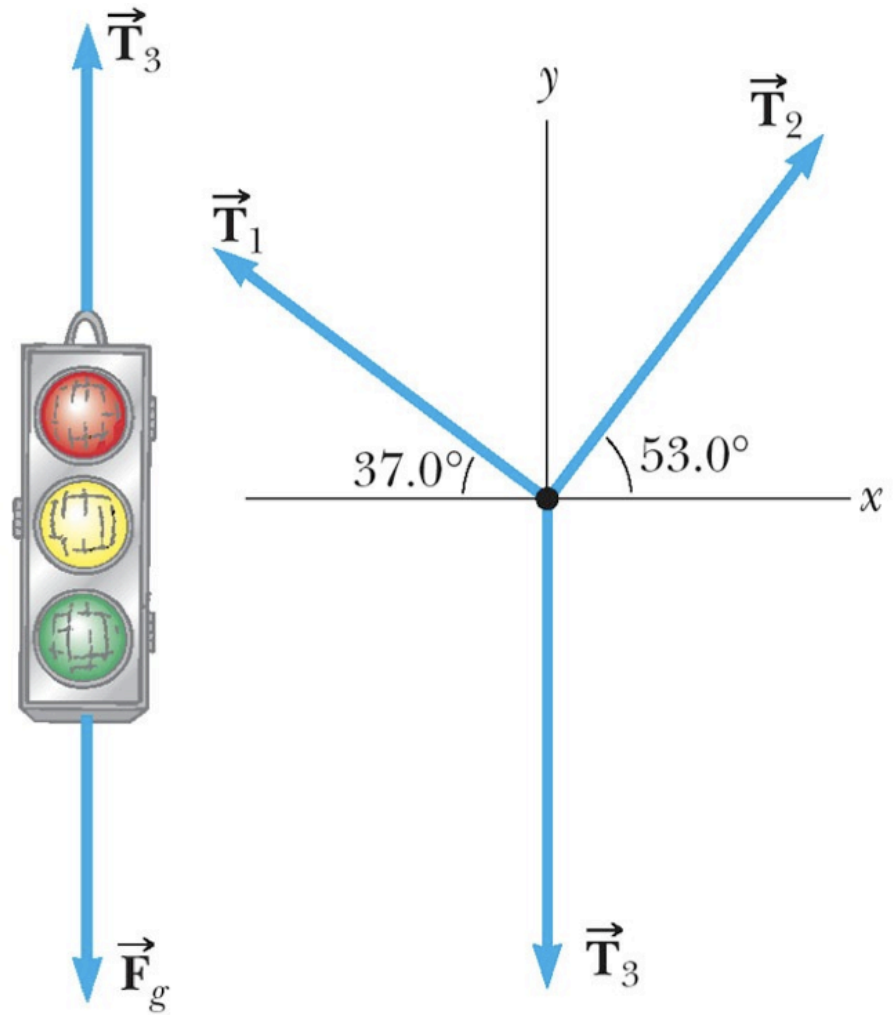
$$-T_1 \cos(37^\circ) + T_2 \cos(53^\circ) = 0$$

$$T_1 \sin(37^\circ) + T_2 \sin(53^\circ) = T_3$$

- Risolviamo:

$$T_2 = T_1 \frac{\cos(37^\circ)}{\cos(53^\circ)} = 1.33T_1; T_1 (\sin(37^\circ) + 1.33 \sin(53^\circ)) = 122 \text{ N};$$

$$T_1 = 73.4 \text{ N}, T_2 = 97.4 \text{ N}$$



Oggetti sottoposti ad una forza totale non nulla

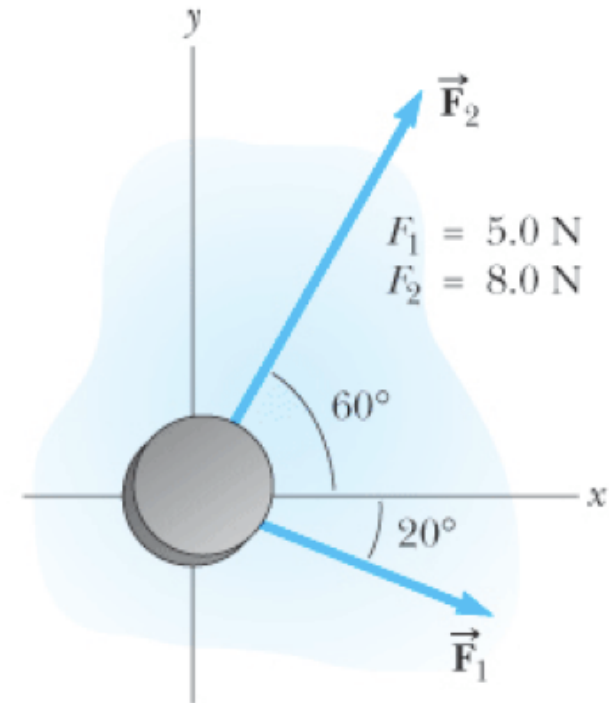
- Se un oggetto subisce un'accelerazione, ci deve essere una *forza totale non nulla* che agisce su di esso
- Disegnate un diagramma di corpo libero
- Applicate la Seconda Legge di Newton a tutte le componenti vettoriali

Disco di massa $m = 0.30 \text{ kg}$: accelerazione?

$$a_x = \frac{F_{1x} + F_{2x}}{m} = 29 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \frac{F_{1y} + F_{2y}}{m} = 17 \text{ m/s}^2$$

$$|\vec{a}| = 34 \text{ m/s}^2, \theta = \arctan \frac{a_y}{a_x} = 30^\circ$$



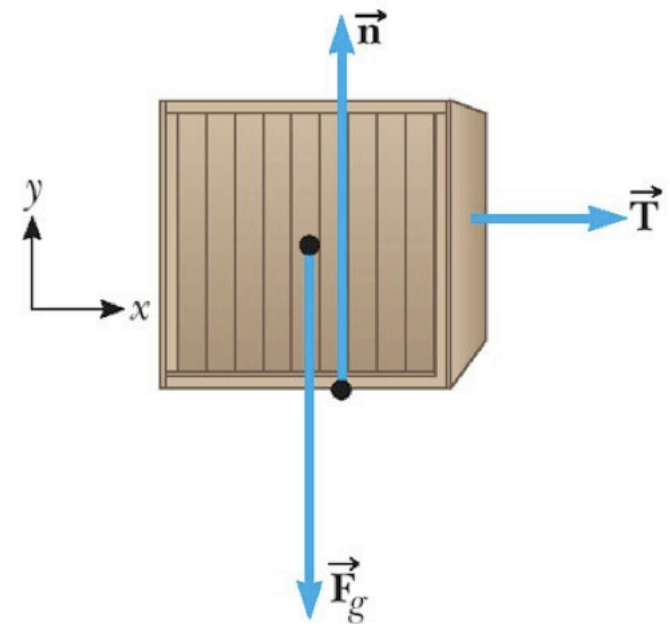
Esempio (senza attrito)

- Forze agenti sull'oggetto:
 - La tensione \vec{T} della corda,
 - La forza gravitazionale, \vec{F}_g
 - La forza normale, \vec{n} , esercitata dal pavimento
- Applicare la seconda legge di Newton alle componenti, risolvere

$$\sum F_x = T = ma_x$$

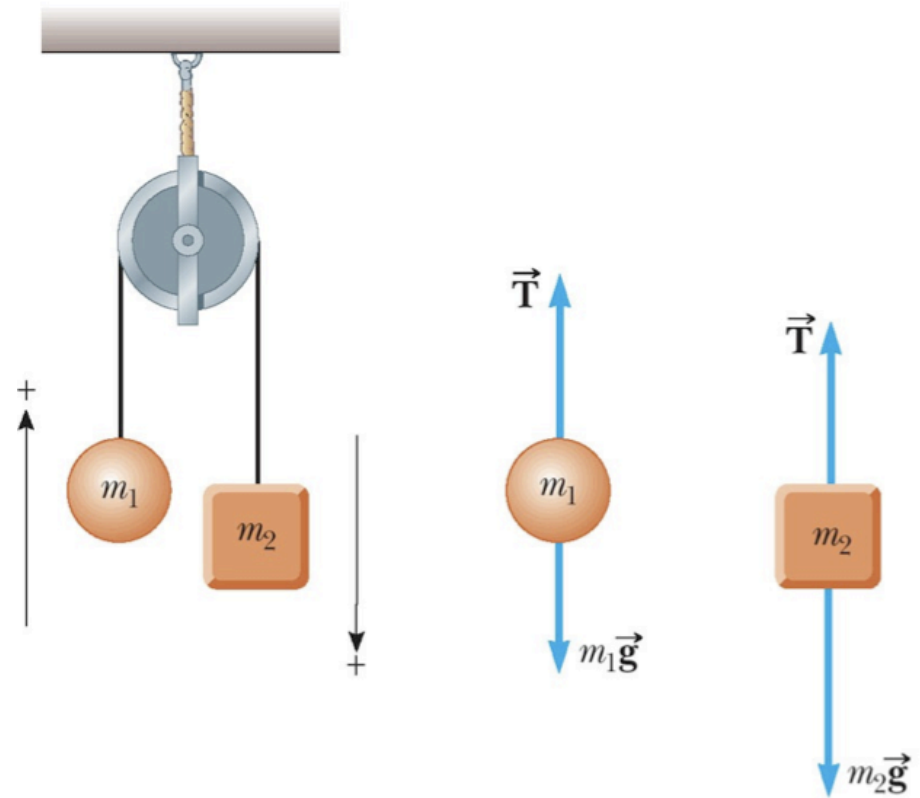
$$\sum F_y = n - F_g = 0 \rightarrow n = F_g$$

Se \vec{T} è costante, anche \vec{a} è costante e il moto è uniformemente accelerato



Esempio: macchina di Atwood

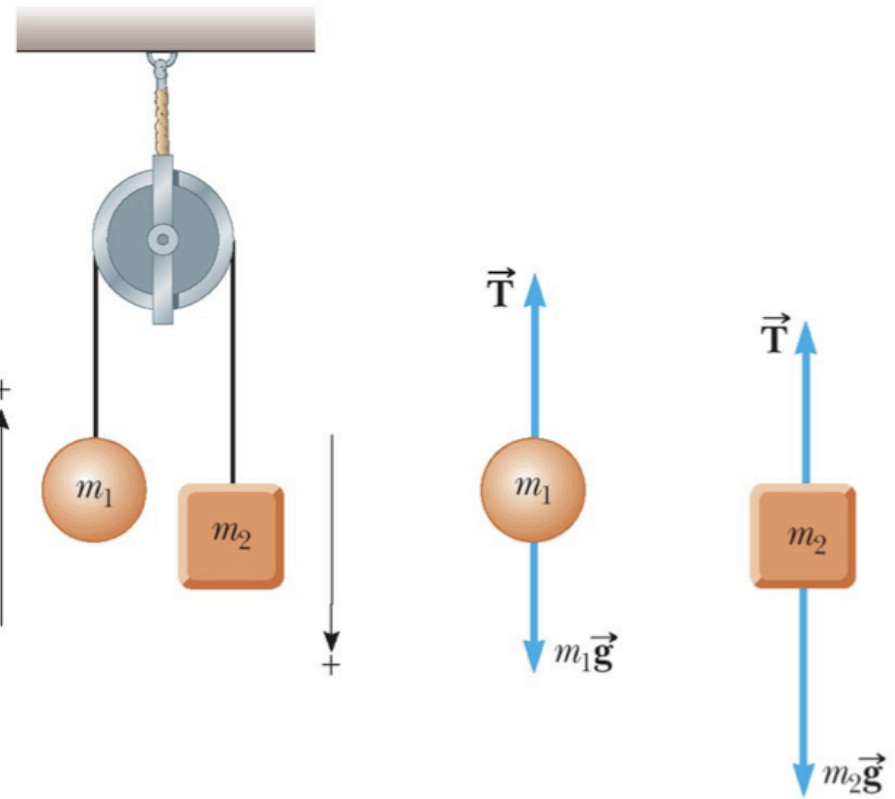
- Forze agenti sugli oggetti:
 - Tensione \vec{T} (la stessa per i due oggetti: un solo filo)
 - Forza gravitazionale
- Ogni oggetto ha la stessa accelerazione in quanto connesso dal filo all'altro
- Soluzione: Disegnare il diagramma di corpo libero, applicare legge di Newton, risolvere per le incognite.



Esempio: macchina di Atwood (2)

- Oggetto 1: $T - m_1g = m_1a_y$
- Oggetto 2: $m_2g - T = m_2a_y$
- Sommiamo le due equazioni:
 $-m_1g + m_2g = m_1a_y + m_2a_y$ da cui

$$a_y = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) g$$



- Sostituendo l'ultima equazione nella prima: $T = \left(\frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2} \right) g$

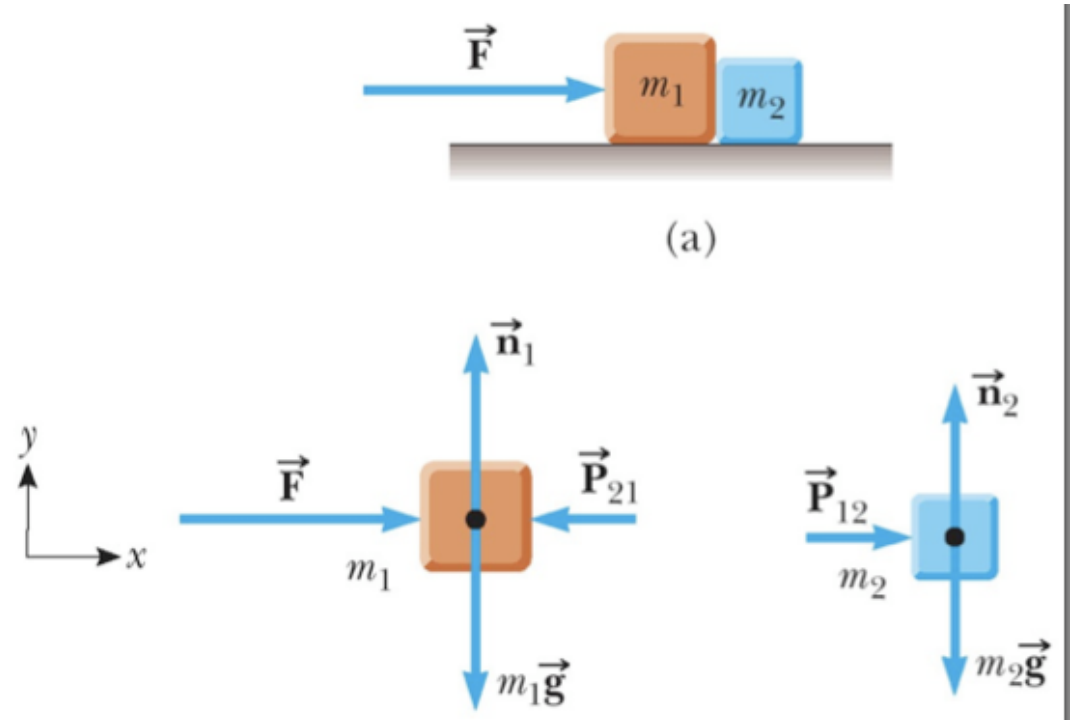
Esempio 2: Oggetti multipli

- Consideriamo per prima cosa il sistema nel suo insieme:

$$\sum F_x = m_{tot}a_x$$

- Applichiamo la Legge di Newton ai singoli blocchi
- Risolviamo le incognite

Verifica: $\vec{P}_{21} = -\vec{P}_{12}$ (è una coppia azione-reazione)



Esempio 2: Oggetti multipli (2)

Per il sistema nel suo insieme:

$$a_x = \frac{F}{m_1 + m_2}$$

(come per un blocco unico di massa $m_1 + m_2$)

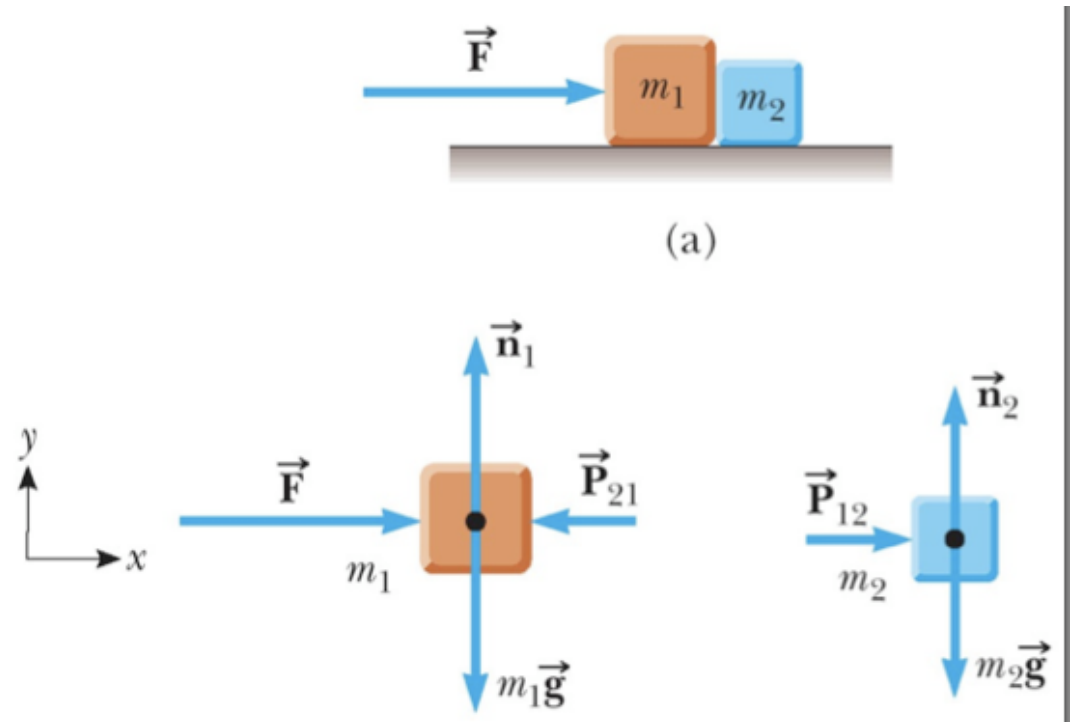
Per il blocco 2: $P_{12} = m_2 a_x$,
da cui

$$P_{12} = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2} \right) F$$

Per il blocco 1:

$$F - P_{21} = m_1 a_x$$

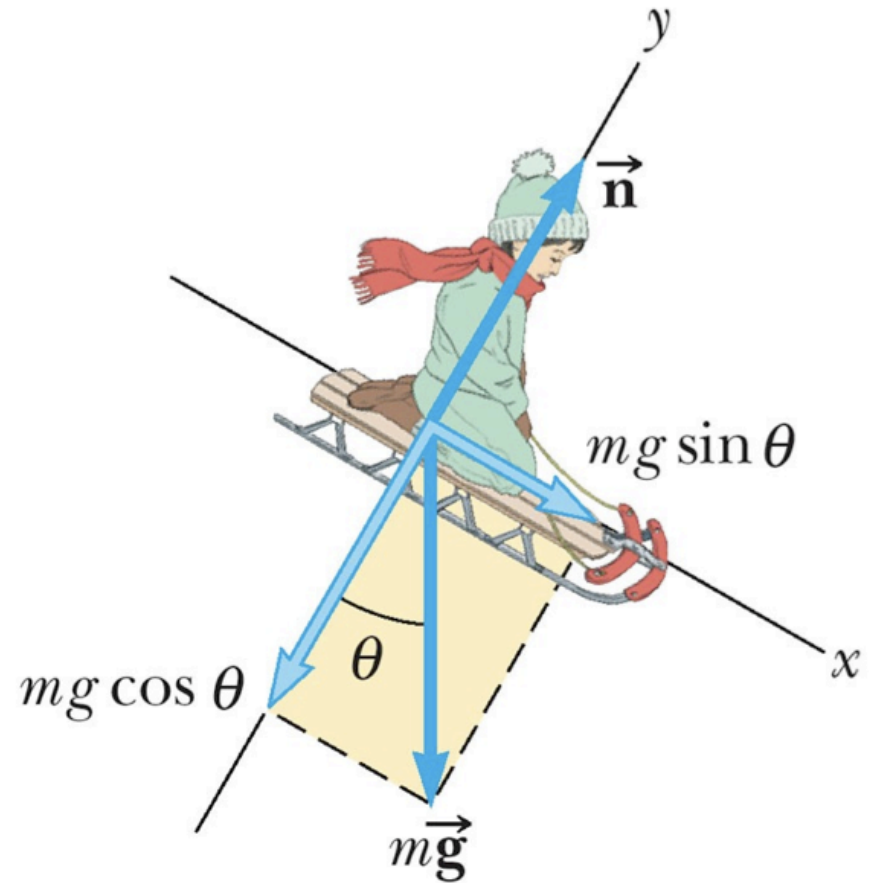
da cui $P_{21} = P_{12}$



Piano inclinato

Forze agenti sull'oggetto:

- La forza normale agisce in direzione *perpendicolare* al piano
- La forza gravitazionale agisce in direzione *verticale*
- Convien scegliere x lungo il piano inclinato, y perpendicolare al piano, scomporre la forza di gravità in component x e y



$$n - mg \cos \theta = 0, \quad mg \sin \theta = ma_x$$

da cui $a_x = g \sin \theta$