Fisica
per LT Informatica
Università di Ferrara

Lucia Del Bianco

Dip.to di Fisica e Scienze della Terra

Forze di attrito

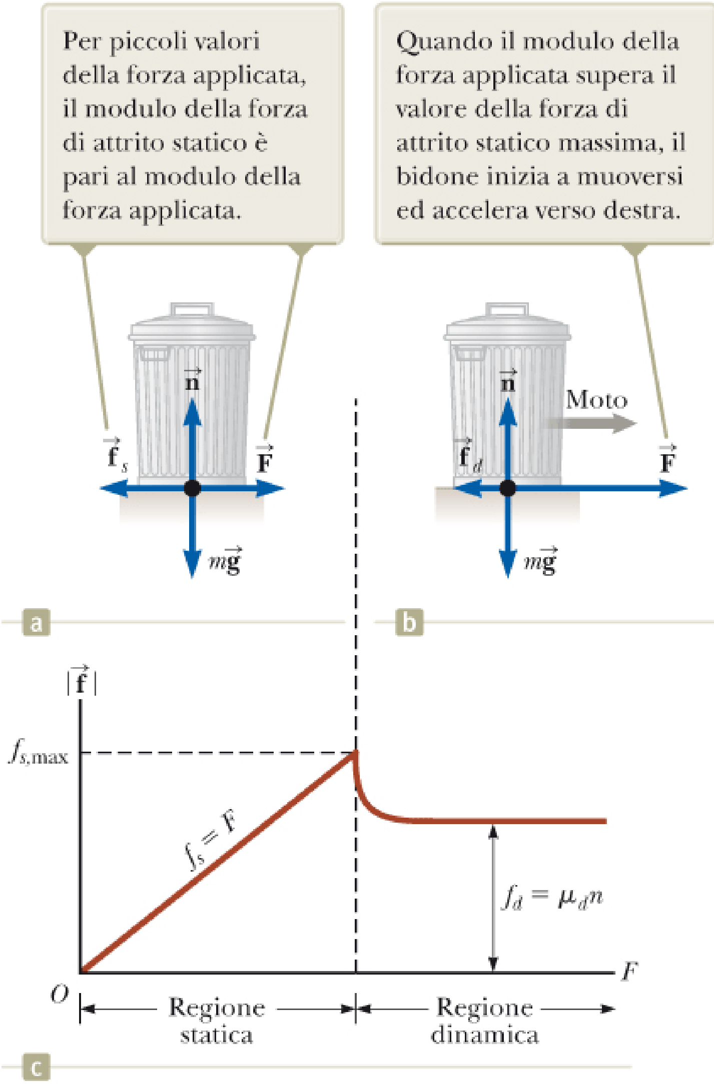


Figura 5.1 (a) e (b) Quando si trascina un bidone della spazzatura, la direzione della forza di attrito $\vec{f}$ tra il bidone e la superficie scabra è opposta alla direzione della forza applicata $\vec{F}$. (c) Grafico delle forza di attrito in funzione della forza applicata. Si noti che $f_{s,\max} > f_d$.

$\mathbf{f}_s$ = forza di attrito statico

$F = f_s$ moduli

$\mathbf{f}_d$ = forza di attrito dinamico

$F - f_d$ Forza netta nella direzione x produce accelerazione verso destra

$F = f_d$ Accelerazione nulla $\Rightarrow$ moto con velocità costante

Forze di attrito

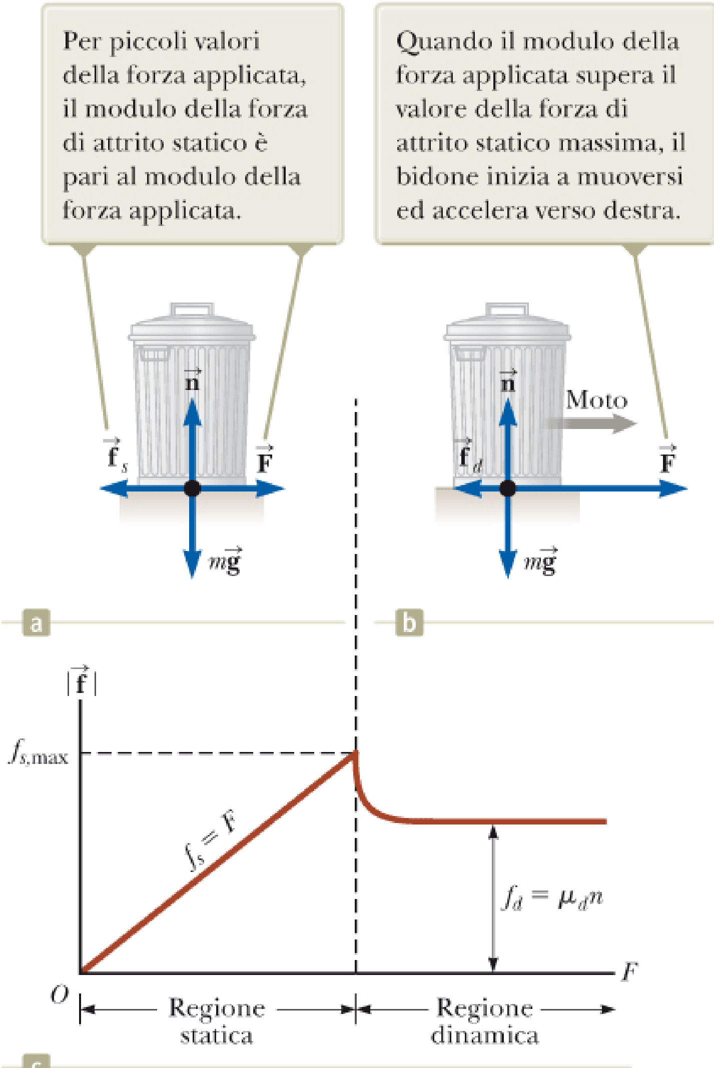


Figura 5.1 (a) e (b) Quando si trascina un bidone della spazzatura, la direzione della forza di attrito $\vec{\mathbf{f}}$ tra il bidone e la superficie scabra è opposta alla direzione della forza applicata $\vec{\mathbf{F}}$. (c) Grafico delle forza di attrito in funzione della forza applicata. Si noti che $f_{s,\max} > f_d$.

Modello semplificato

$$f_s \leq \mu_s n$$

μ_s = coefficiente di attrito statico
n = modulo della forza normale

$$f_s = f_{s,\max} = \mu_s n$$

Condizione di moto imminente

$$f_d = \mu_d n$$

μ_d = coefficiente di attrito dinamico
n = modulo della forza normale

$$\mu_d < \mu_s$$

Il verso della forza di attrito è opposto a quello del moto o a quello del moto imminente del corpo relativamente alla superficie con la quale è in contatto.

TABELLA 5.1 | **Coefficienti di attrito**

	μ_s	μ_d
Gomma su cemento	1.0	0.8
Acciaio su acciaio	0.74	0.57
Alluminio su acciaio	0.61	0.47
Vetro su vetro	0.94	0.4
Rame su acciaio	0.53	0.36
Legno su legno	0.25-0.5	0.2
Legno cerato su neve bagnata	0.14	0.1
Metallo su metallo (lubrificato)	0.15	0.06
Legno cerato su neve secca	—	0.04
Teflon su teflon	0.04	0.04
Ghiaccio su ghiaccio	0.1	0.03
Giunti sinoviali negli uomini	0.01	0.003

Nota: tutti i valori sono approssimati. In alcuni casi il coefficiente di attrito può essere maggiore di 1.0.

$$\boxed{\mu_d < \mu_s}$$

EdiSES

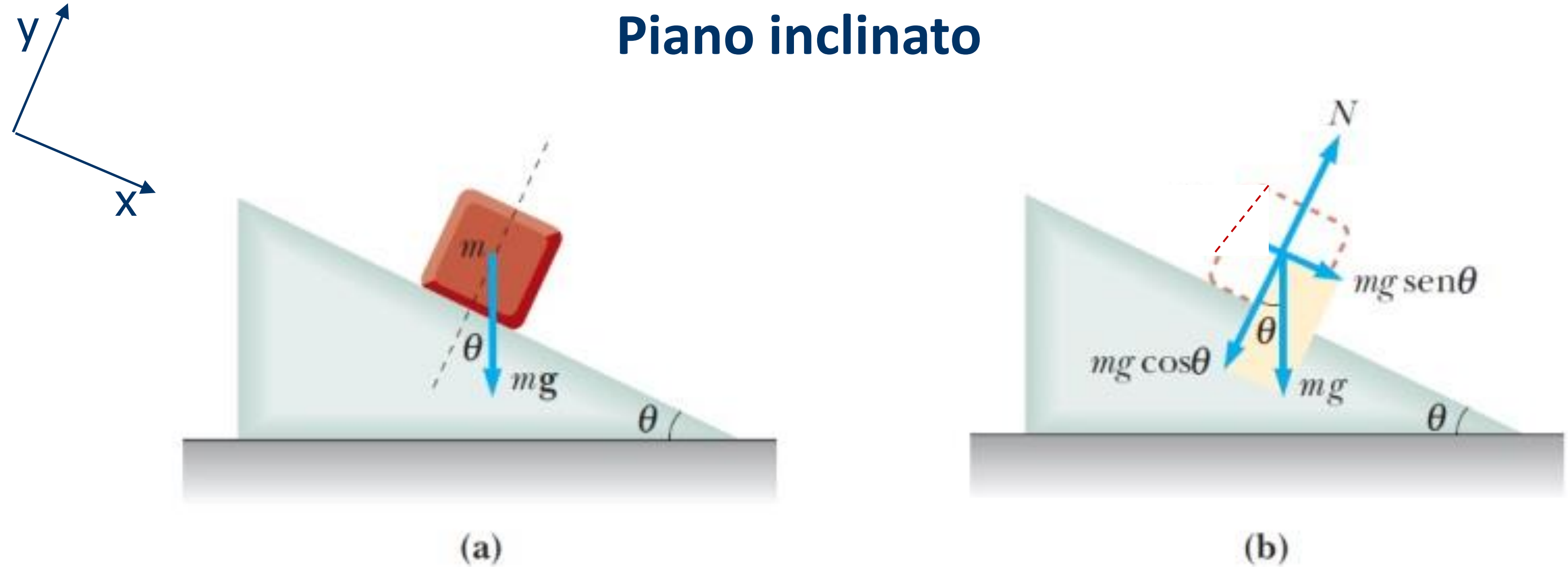
Forza di attrito dipendente dalla velocità

- Quando un corpo si muove in un fluido (ad es. un sasso nell'aria o in un liquido) quest'ultimo esercita una forza di attrito
- La caratteristica di opporsi al moto di un fluido è detto resistenza viscosa
- La forza di attrito agente su un corpo che si muove in un mezzo viscoso è proporzionale alla velocità

$$\vec{R} = -b\vec{v}$$

- Il segno – indica che la forza di attrito è opposta alla velocità, la costante b dipende dalle proprietà del mezzo e dalla forma del corpo

Piano inclinato



Agisce solo la forza peso

$$\vec{P} + \vec{N} = m\vec{a}$$

$$-mg\cos\theta + N = 0$$ 1) lungo y

$$mg sen\theta = ma$$ 2) lungo x

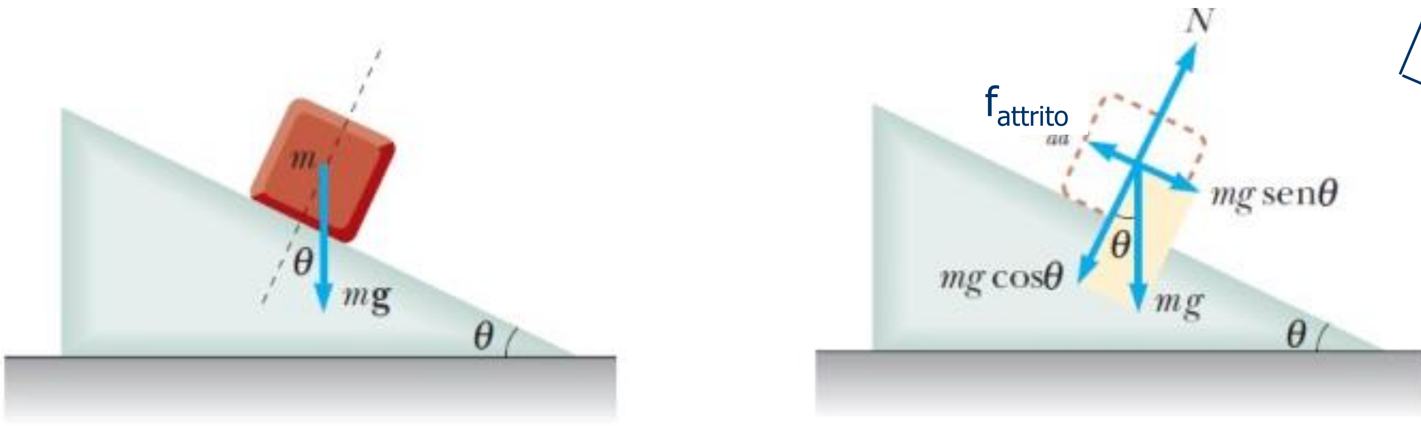
Moto uniformemente accelerato

$$N = mg\cos\theta$$

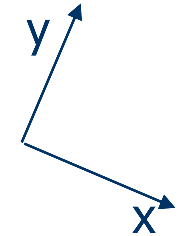
$$a = g sen\theta < g$$

EdiSES

Piano inclinato con attrito



(a) (b)



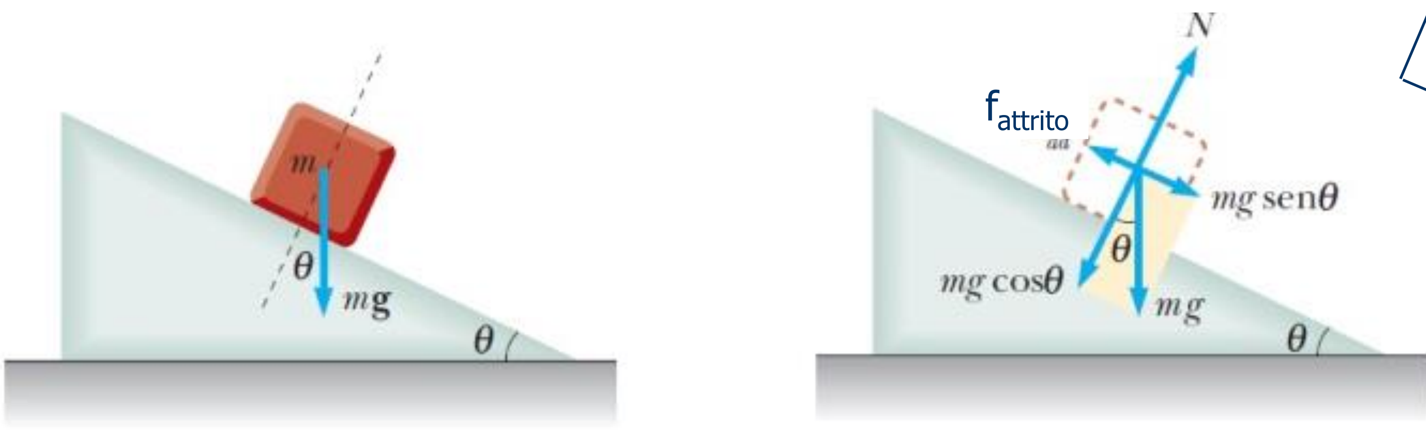
Il moto NON può avvenire se:

$$mgsen\theta \leq f_{s,\max} = \mu_s N = \mu_s mg\cos\theta$$ lungo x

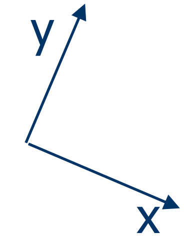
$$\frac{mgsen\theta}{mg\cos\theta} \leq \mu_s$$

$$\boxed{\tan\theta \leq \mu_s}$$ **Condizione per equilibrio statico**

Piano inclinato con attrito



(a) (b)



Se il corpo è in moto:

$$\boxed{N = mg\cos\theta}$$ 1) lungo y

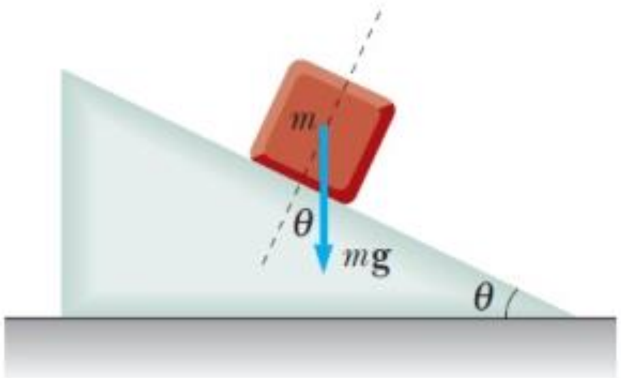
$$mgsen\theta - \mu_d N = ma$$ 2) lungo x $$a = gsen\theta - \mu_d g\cos\theta$$

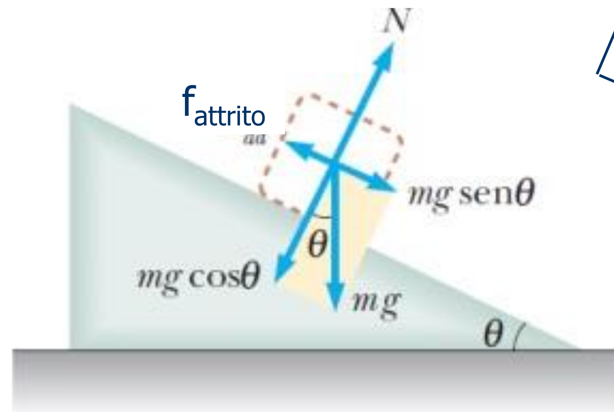
$$\boxed{a = (sen\theta - \mu_d\cos\theta)g}$$

Se il corpo parte da fermo, deve essere $\tan\theta > \mu_d$

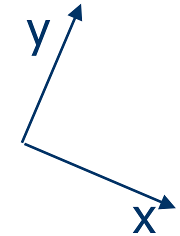
In particolare, se $\tan\theta = \mu_d \Rightarrow a = 0$ Il moto è uniforme

Piano inclinato con attrito





(b)



Riassumendo

Il corpo resta fermo per $\boxed{0 < \theta < \theta_s}$ tale che $\boxed{\tan\theta_s = \mu_s}$

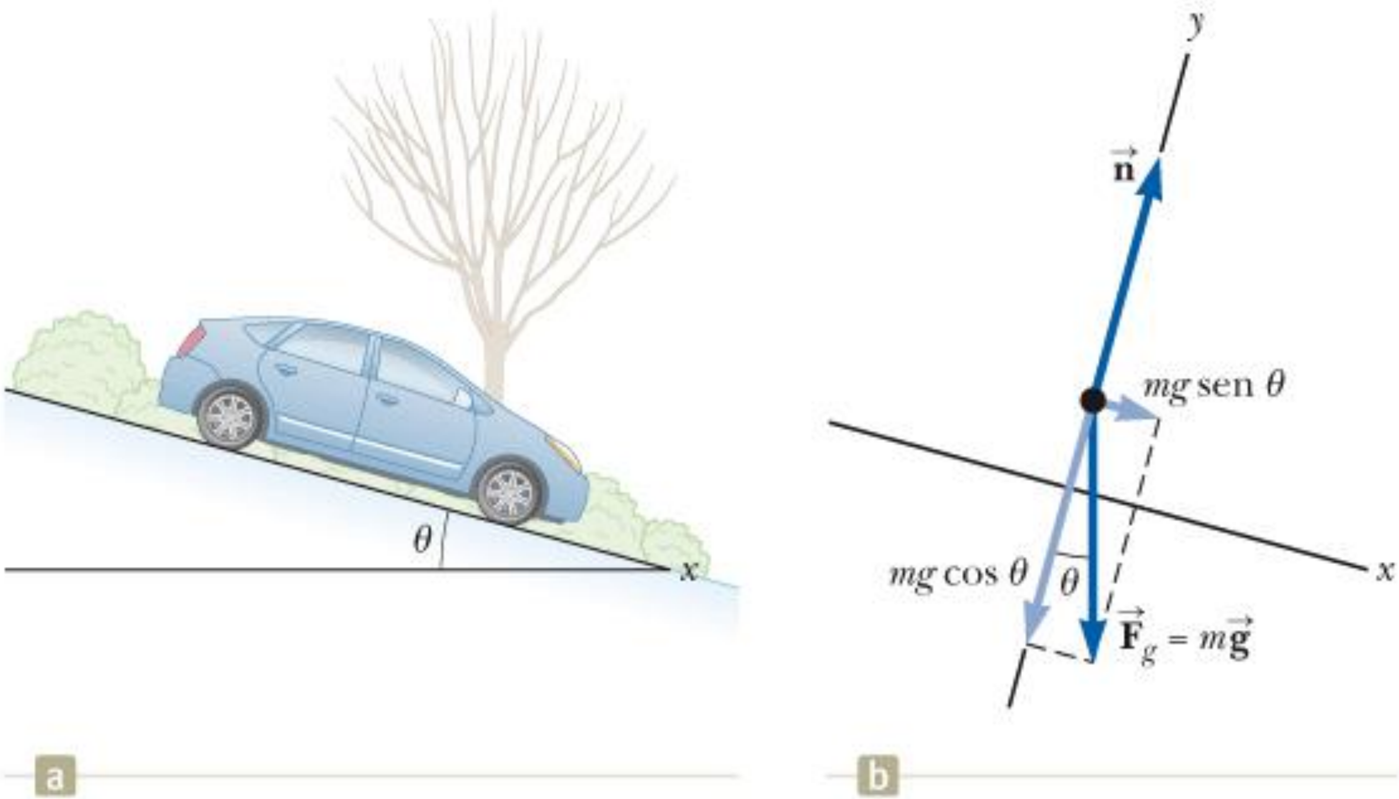
Il corpo scende sul piano per $\boxed{\theta > \theta_s}$

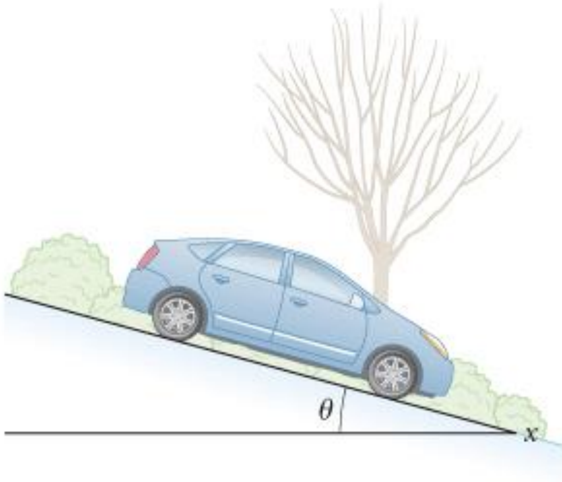
Una volta che ha cominciato a scendere $\boxed{\mu_d < \mu_s}$ Allora si può avere moto anche per $\boxed{\theta_d < \theta < \theta_s}$

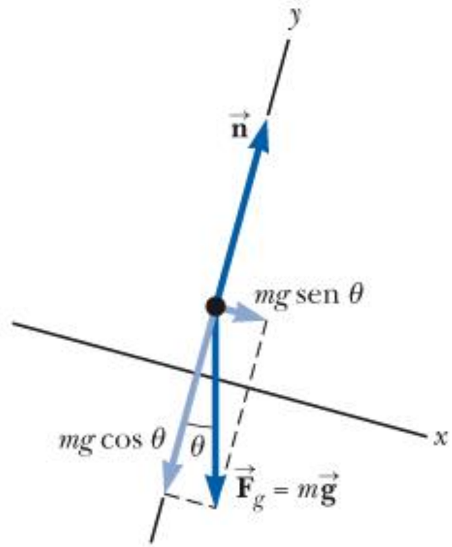
tale che $\boxed{\tan\theta_d = \mu_d}$

ESERCIZIO

Un’auto di massa m si trova lungo una discesa ghiacciata che forma un angolo θ, come in Figura 4.11a.
(A) Determinare l’accelerazione della macchina, assumendo che il pendio sia privo di attrito.







$$(1)\ \sum F_x = mg \operatorname{sen}\theta = ma_x$$

$$(2)\ \sum F_y = n - mg\cos\theta = 0$$

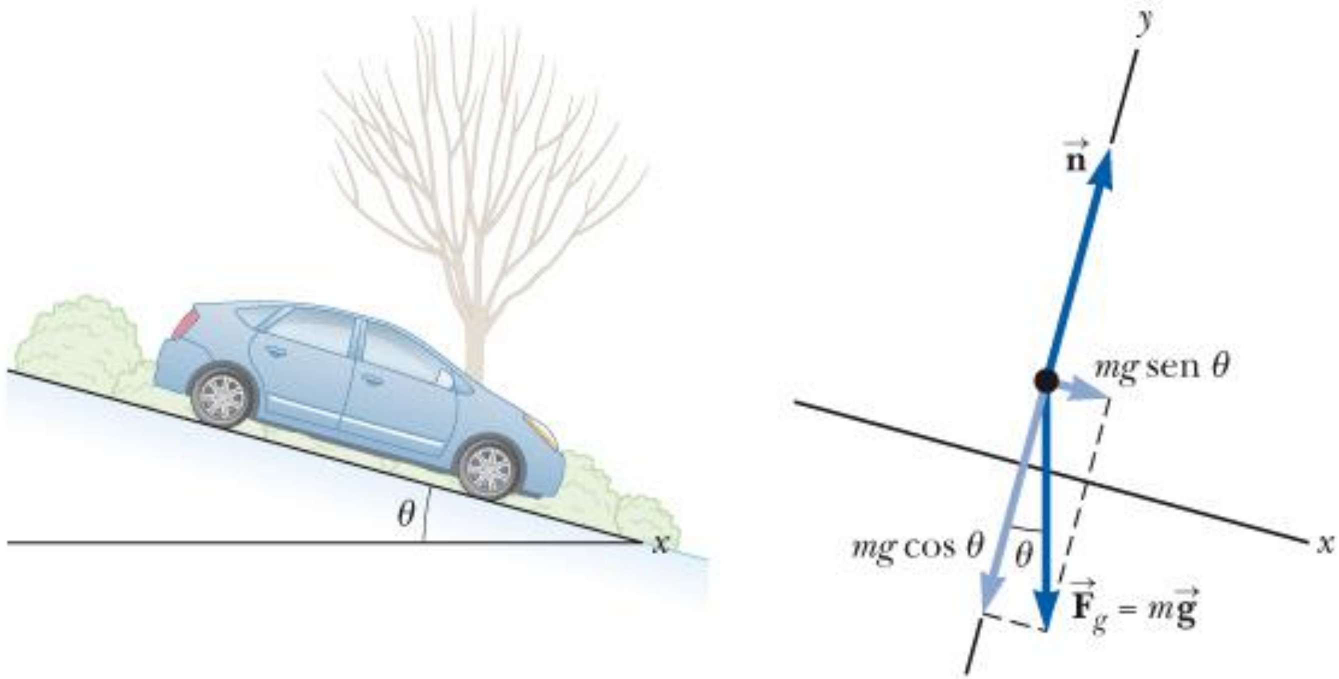
Risolvendo l'Equazione (1) rispetto a a_x:

$$(3)\ a_x = g \operatorname{sen}\theta$$

EdiSES

(B) Supponiamo che la macchina sia lasciata andare da ferma alla sommità del pendio, e la distanza tra il paraurti anteriore della macchina ed il fondo del pendio sia d.

Quanto tempo impiegherà la parte anteriore della macchina per raggiungere il fondo, e quale sarà la sua velocità proprio quando arriva in questo punto?

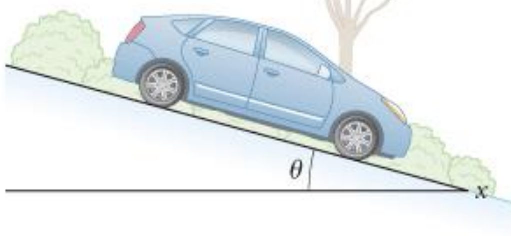


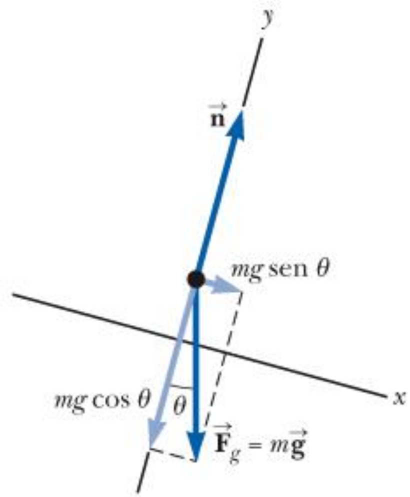
Moto uniformemente accelerato

Formule generali del moto uniformemente accelerato

$$v_f = v_i + at$$

$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2} a t^2$$





Analisi Usiamo l'Equazione 2.13, per descrivere la posizione del paraurti anteriore della macchina. Definiamo la posizione iniziale $x_i = 0$ e la posizione finale $x_f = d$. Poiché la macchina inizia a scivolare da ferma, $v_{xi} = 0$.

$$d = \frac{1}{2}a_x t^2$$

Risolviamo rispetto a t:

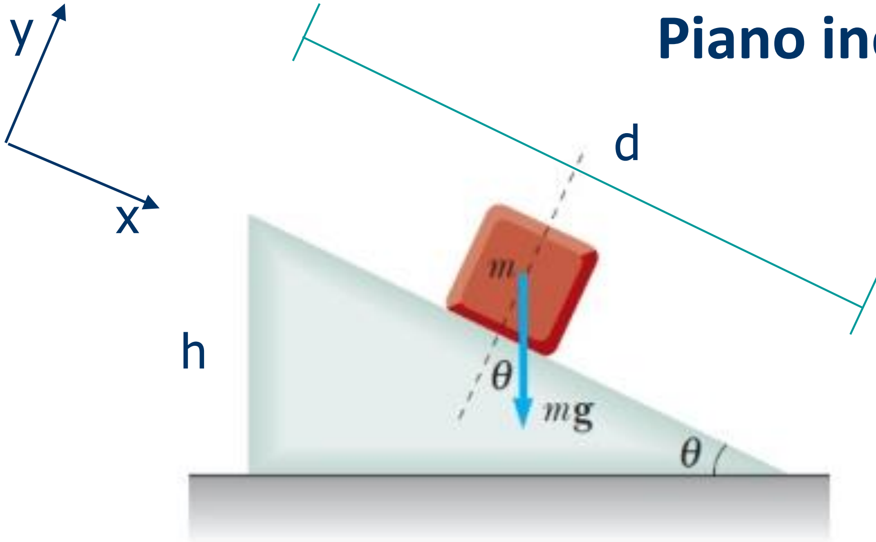
$$(4)\ t = \sqrt{\frac{2d}{a_x}} = \boxed{\sqrt{\frac{2d}{g \operatorname{sen} \theta}}}$$

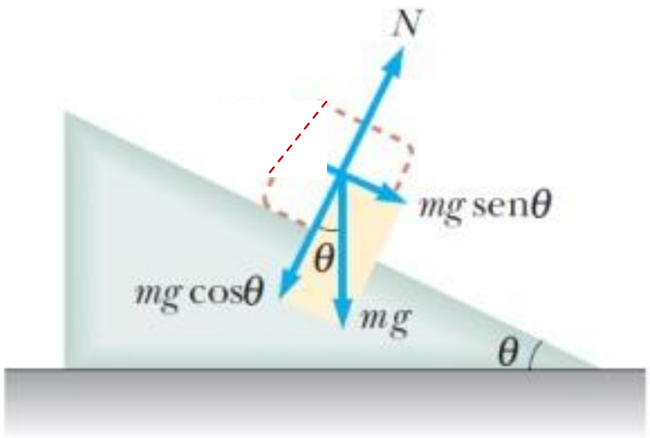
Usiamo l'Equazione 2.14, con $v_{xi} = 0$, per trovare la velocità finale della macchina:

$$v_{xf}{}^2 = 2a_x d$$

$$(5)\ v_{xf} = \sqrt{2a_x d} = \boxed{\sqrt{2gd \operatorname{sen} \theta}}$$

Piano inclinato





(b)

Calcoliamo la velocità con cui il corpo, lanciato dal vertice del piano inclinato con **velocità v_i**, arriva alla base. E' nota l'altezza h.

$$h = d sen\theta$$

NO ATTRITO

$$\boxed{a = g sen\theta}$$

costante

Moto uniformemente accelerato

Formule generali del moto uniformemente accelerato

$$v_f = v_i + at$$

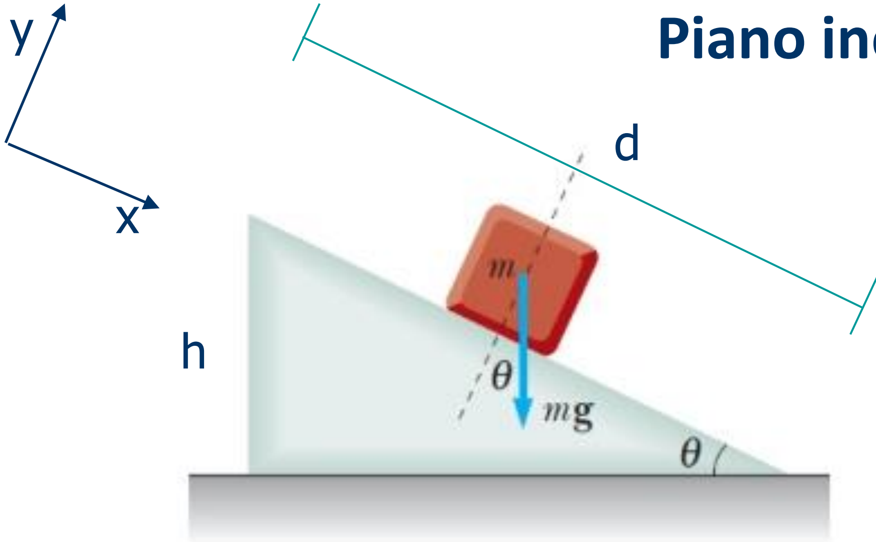
$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2$$

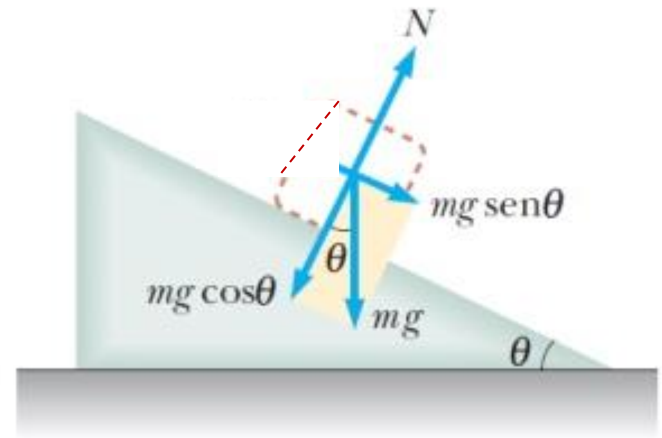
Ricavo t dalla prima e lo sostituisco nella seconda

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

Formula generale

Piano inclinato





(b)

Calcoliamo la velocità con cui il corpo, lanciato dal vertice del piano inclinato con **velocità v_i**, arriva alla base

NO ATTRITO

$$a = g sen\theta$$ costante

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$ Formula generale

$$v_f^2 = v_i^2 + 2g sen\theta d$$

$$h = d sen\theta$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2gh$$

La velocità finale non dipende da θ (è la stessa che abbiamo ricavato per il corpo in caduta libera)

EdiSES

Piano inclinato con attrito

Calcoliamo la velocità con cui il corpo, lanciato dal vertice del piano inclinato con **velocità v_i**, arriva alla base

CON ATTRITO

$$a = (sen\theta - \mu_d \cos\theta)g$$

$$h = dsen\theta$$

$$d\cos\theta$$

lunghezza base
(varia con θ, a parità di h)

$$v_f^2 = v_i^2 + 2g(sen\theta - \mu_d \cos\theta)d$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2g(dsen\theta - \mu_d d\cos\theta)$$

La velocità finale dipende da θ: essa diminuisce al diminuire di θ, cioè al crescere di d.

Piano inclinato con attrito

$$v_f^2 = v_i^2 + 2g(dsen\theta - \mu_d d\cos\theta)$$

1° caso

$v_f > v_i$ Moto accelerato $sen\theta - \mu_d \cos\theta > 0$ $\tan\theta > \mu_d$

2° caso

$v_f = v_i$ Moto uniforme $sen\theta - \mu_d \cos\theta = 0$ $\tan\theta = \mu_d$

3° caso

$v_f < v_i$ Moto decceleréato $sen\theta - \mu_d \cos\theta < 0$ $\tan\theta < \mu_d$