

P. MASCHERETTI

Appunti grafici
sul tema

**ATTRITO
E
ROTOLAMENTO**

Vedi anche il sito

<http://fisicavolta.unipv.it/didattica/materiale.html>

ATTRITO E ROTOLAMENTO

La proposta sviluppa lo studio dei fenomeni di attrito che si manifestano nel rotolamento. Si articola in due sezioni:

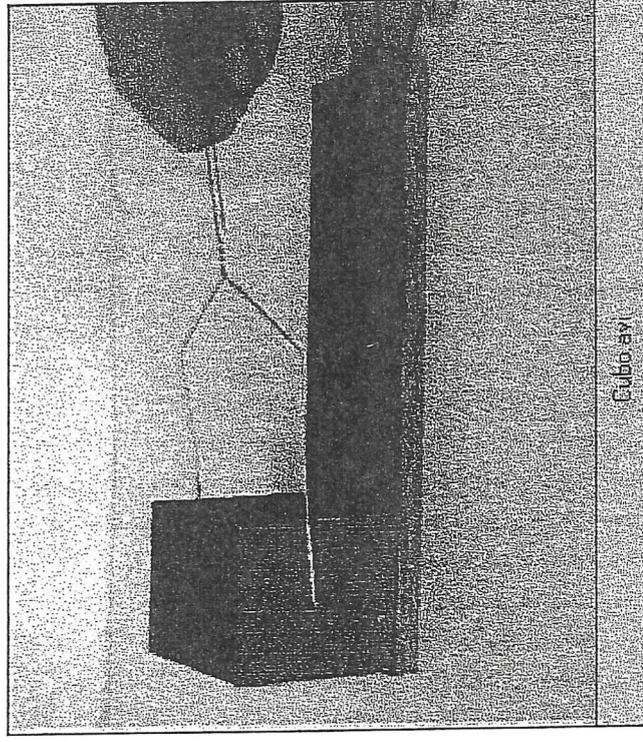
- *Il rotolamento come caso limite del ribaltamento*: vengono esaminati gli aspetti geometrici e le correlazioni tra forze in gioco nel ribaltamento di prismi e nel rotolamento di dischi. Osservazioni di modelli concreti e sviluppi formali mediante simulazioni costituiscono strumenti per analizzare le forze di attrito statico che consentono il rotolamento di sistemi mossi in diverse condizioni (forze e coppie).

- *L'attrito volvente*: la dissipazione di energia meccanica connessa con il rotolamento in condizioni reali viene analizzata come conseguenza di una imperfetta elasticità del sistema che rotola e del sistema-appoggio.

I punti di contatto sono fermi

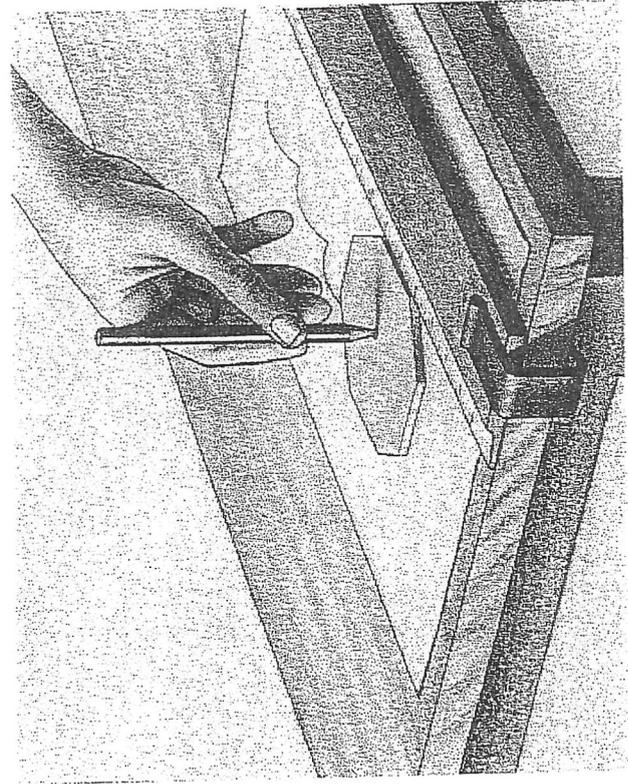
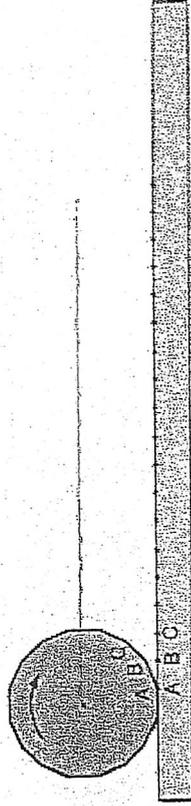
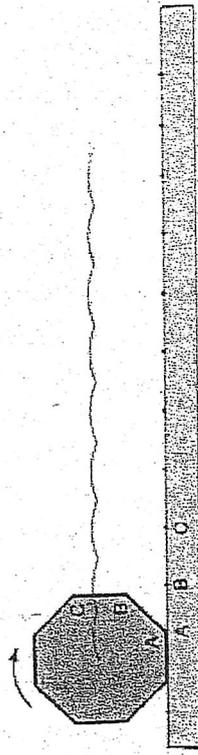
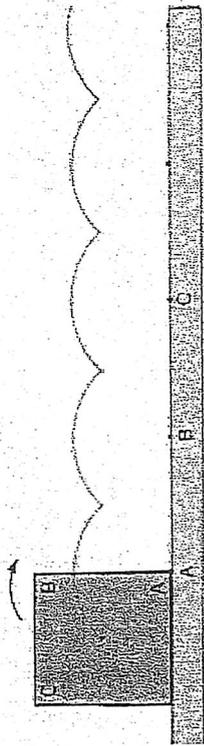
Per suggerire che la zona di contatto tra la ruota e il pavimento è istante per istante fermo, si propone di osservare il ribaltamento di prismi....

Si può fare con un cubo



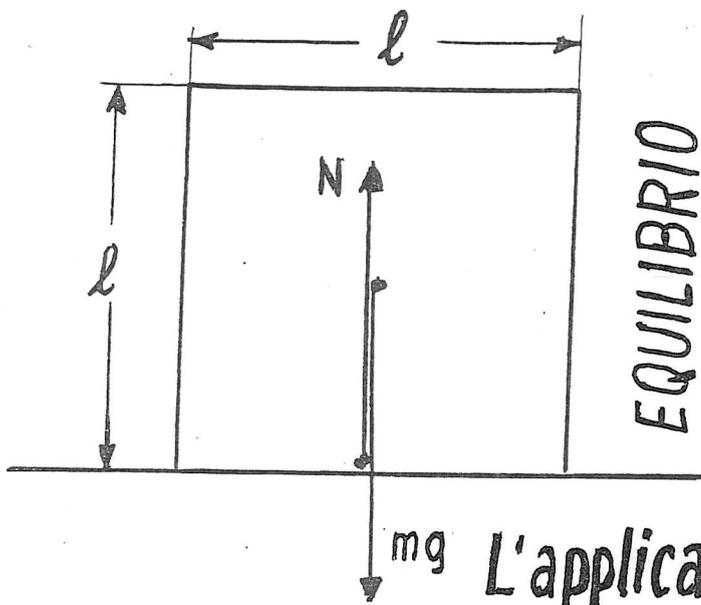
.....durante il ribaltamento lo spigolo di contatto è fermo

Si schematizza e si aumenta il numero delle facce: la traiettoria del centro diventa sempre meno accidentata



Il rotolamento regolare di un disco mantiene la caratteristica di essere una successione di rotazioni attorno ai punti che sono via via a contatto con il piano di appoggio. La traiettoria del centro si può anche disegnare

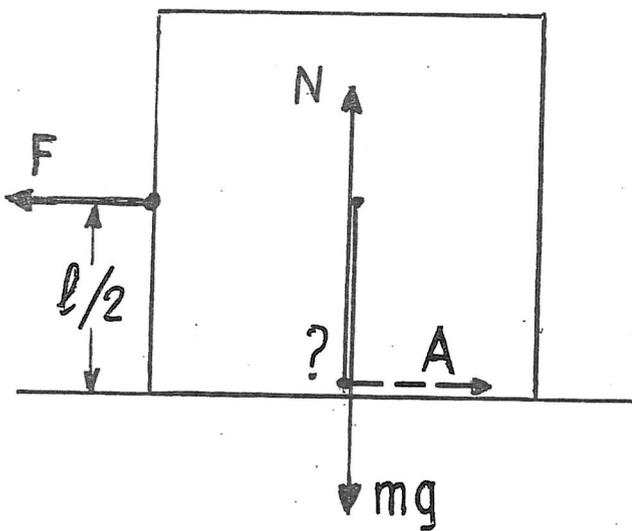
(dal sito)



N "bilancia" mg ;

mg ed N sono le risultanti di forze elementari distribuite rispettivamente nel volume e sulla superficie di appoggio del cubo sul piano (stress da compressione)

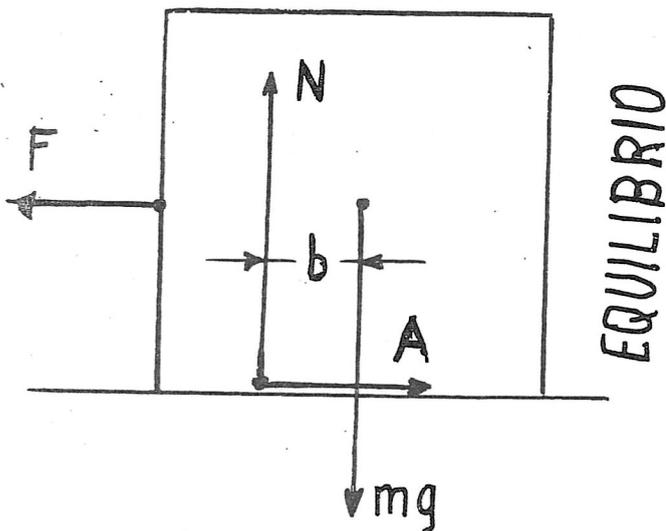
L'applicazione di una forza orizzontale F non altera l'equilibrio



Alla reazione verticale N si associa l'attrito statico A che "bilancia" F ... ma si genera la coppia $[F A]$;

L'equilibrio non potrebbe sussistere.

Ma anche A è la risultante di forze orizzontali elementari distribuite sulla superficie che appoggia sul piano



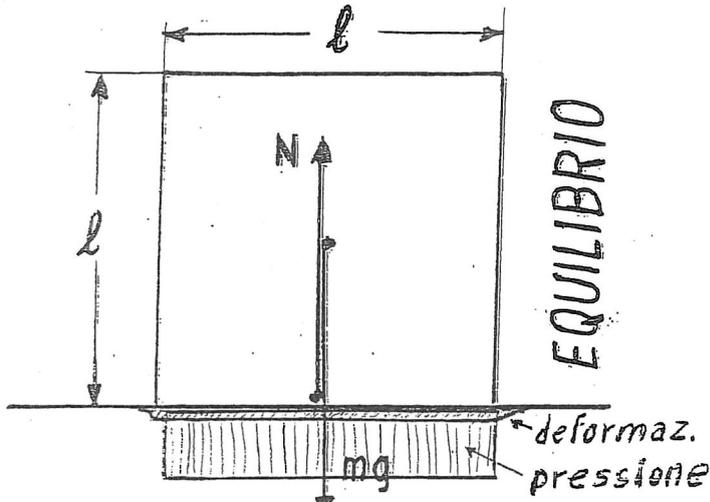
Il permanere di fatto dell'equilibrio indica che l'applicazione di F produce un cambiamento della distribuzione di tutte le forze elementari di reazione sulla superficie di appoggio

Il punto di applicazione comune delle due risultanti "migra" di b verso lo spigolo del cubo fino al valore

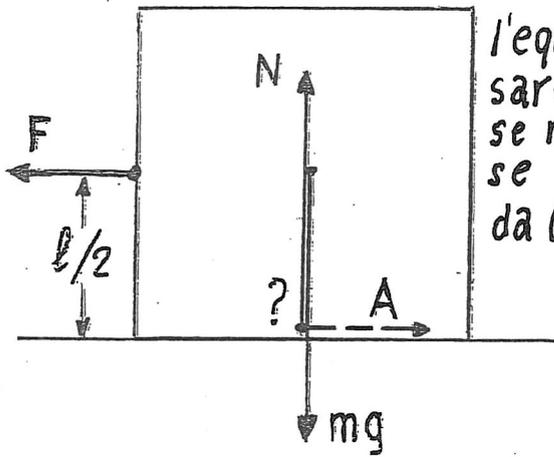
$$b = \frac{F}{mg} \frac{l}{2}$$

... la "migrazione" di N (e di A) verso lo spigolo è conseguenza delle deformazioni e degli stress elastici nel piano di appoggio...

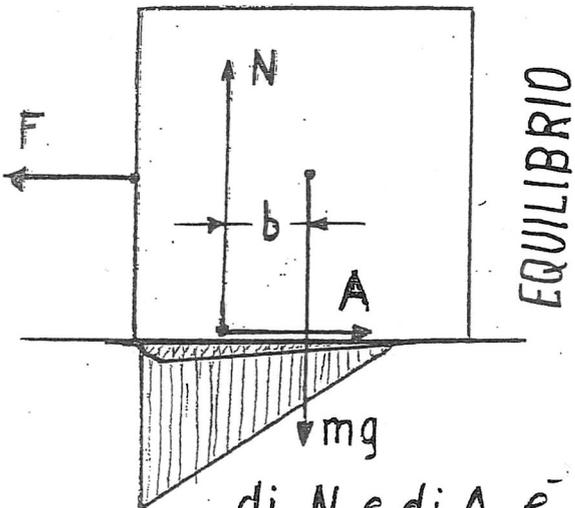
diagrammi degli stress al variare di F



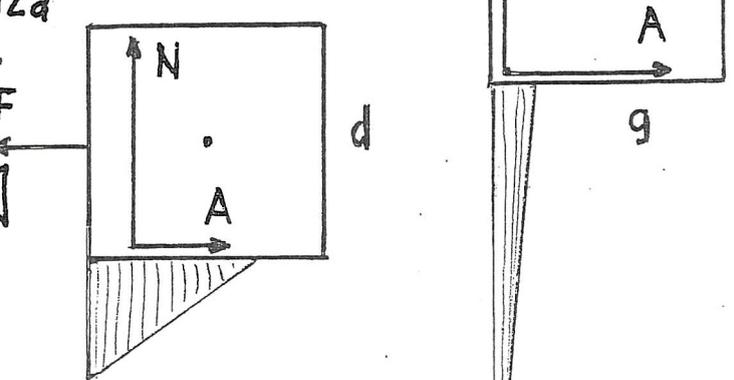
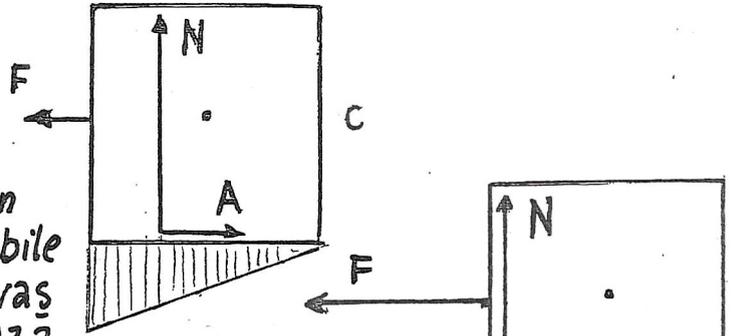
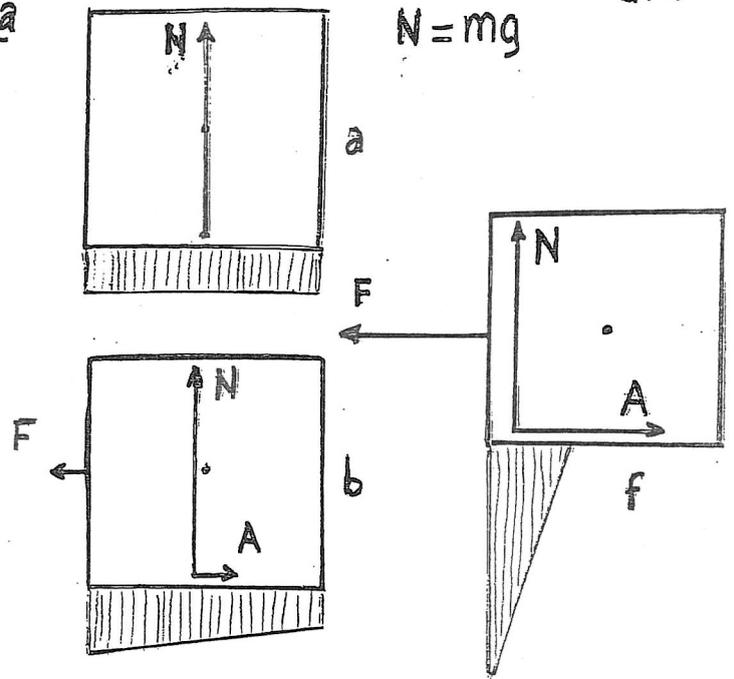
modello degli andamenti della pressione e della deformazione sulla base di appoggio del cubo (omogeneo)



l'equilibrio non sarebbe possibile se non si attivasse la sequenza da (a)...(g)...

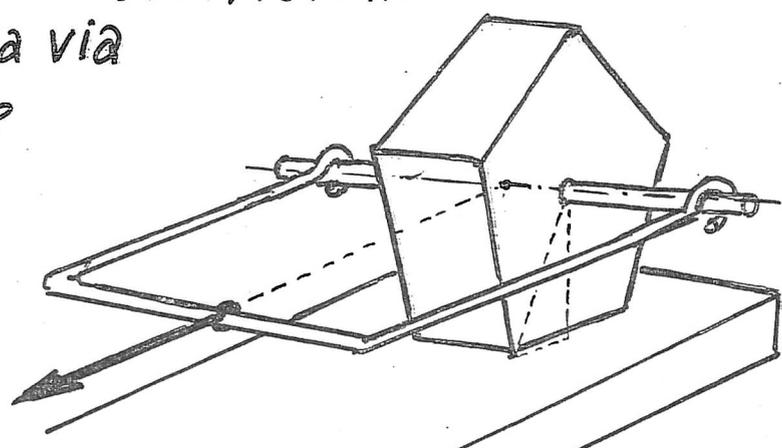


di N e di A è sullo spigolo del cubo; ha inizio il ribaltamento. D'altra parte, essendo $A \leq \mu_{st} mg$ (μ_{st} : coeff. di attrito statico), il ribaltamento di un cubo mediante una F con direzione dal centro del cubo è possibile soltanto se $\mu_{st} = 1$



Per $F = mg$ è $b = l/2$; il punto di applicazione

...per prismi aventi per basi poligoni regolari, il ribaltamento mediante forze con direzioni passanti per l'asse del prisma si ottiene con coefficienti di attrito statico via via più piccoli al crescere del numero dei lati delle basi...

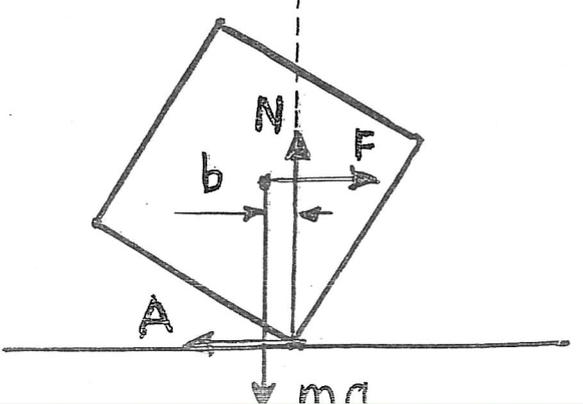
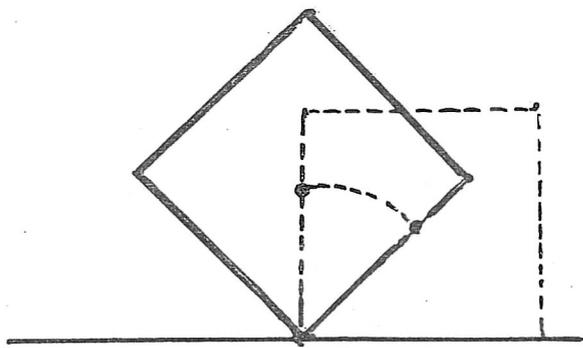


Per esempio:

- PENTAGONO : $\mu_{st} = \text{tg } 36^\circ = 0,72654$
- ESAGONO : $\mu_{st} = \text{tg } 30^\circ = 0,57735$
- OTTAGONO : $\mu_{st} = \text{tg } 22^\circ 30' = 0,41421$
- BASE A 20 LATI : $\mu_{st} = \text{tg } 9^\circ = 0,15838$

(Questi sono i valori minimi necessari: per esempio, per un valore effettivo $\mu_{st} = 0,5$, si può ribaltare un ottagonno ma non un esagono)

Il ribaltamento ha una prima fase che si conclude con il centro del cubo sulla verticale dello spigolo. In una successione di stati di equilibrio il valore di F si riduce fino al valore zero. (Anche il valore di A si riduce a zero).

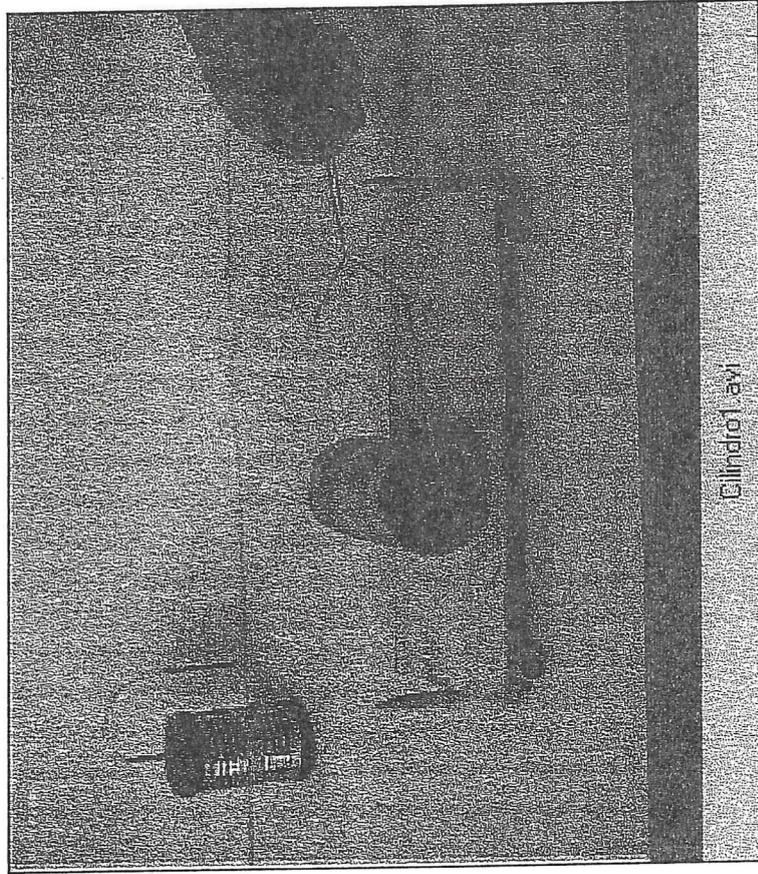


La seconda fase è una rotazione "libera" attorno allo spigolo. se il cubo è "abbandonato" alla sola azione del peso e della reazione vincolare. (Deve essere "assistita" da una F se la si vuole frazionare in una successione di stati di equilibrio. In tal caso, è simmetrica alla prima fase)

La forza d'attrito che consente il rotolamento

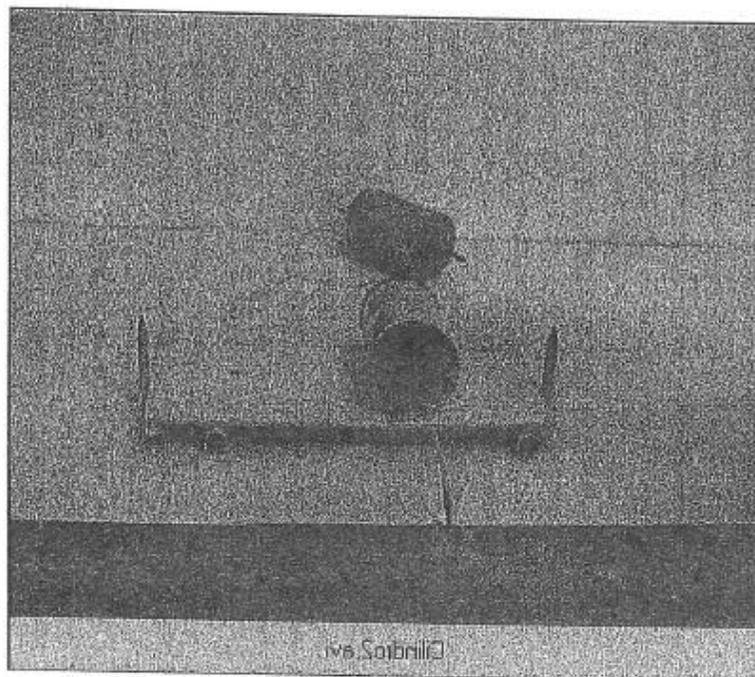
Il rotolamento di un disco è possibile se nelle zone di contatto agisce sul disco una forza di attrito statico. Semplici esperienze consentono di individuare il verso di tale forza in due casi significativi.

Si tira un cilindro agendo sul suo asse: quale matita cadrà?



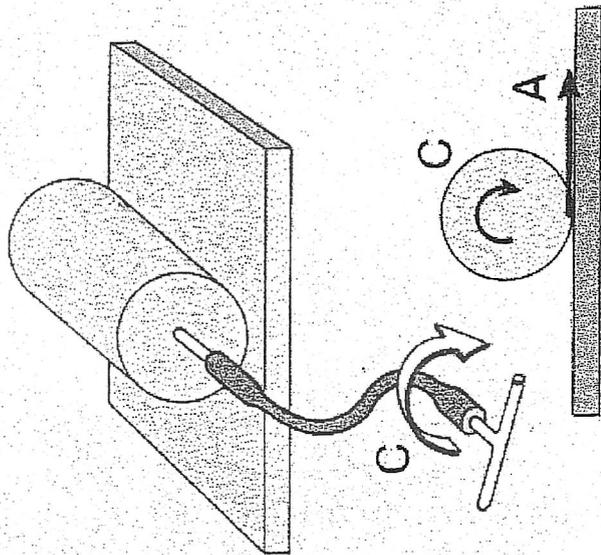
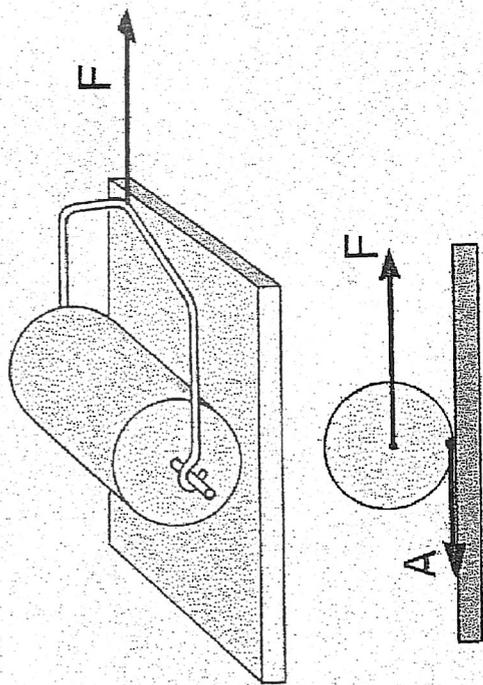
(dal sito)

Si applica ora al cilindro una coppia torcendo in senso orario un tubicino flessibile calzato sull'asse.
Quale matita cadrà?



(dal sito)

Schematizzando possiamo visualizzare la forza di attrito che agisce sul cilindro nella zona di contatto

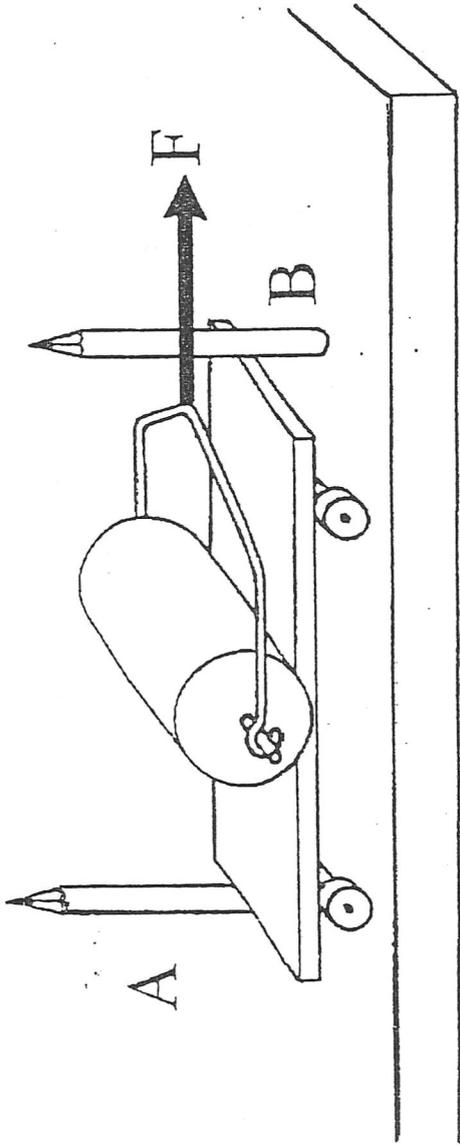


Il verso della forza d'attrito è tale da contrastare il moto relativo tra cilindro e basamento che si avrebbe in assenza di attrito.

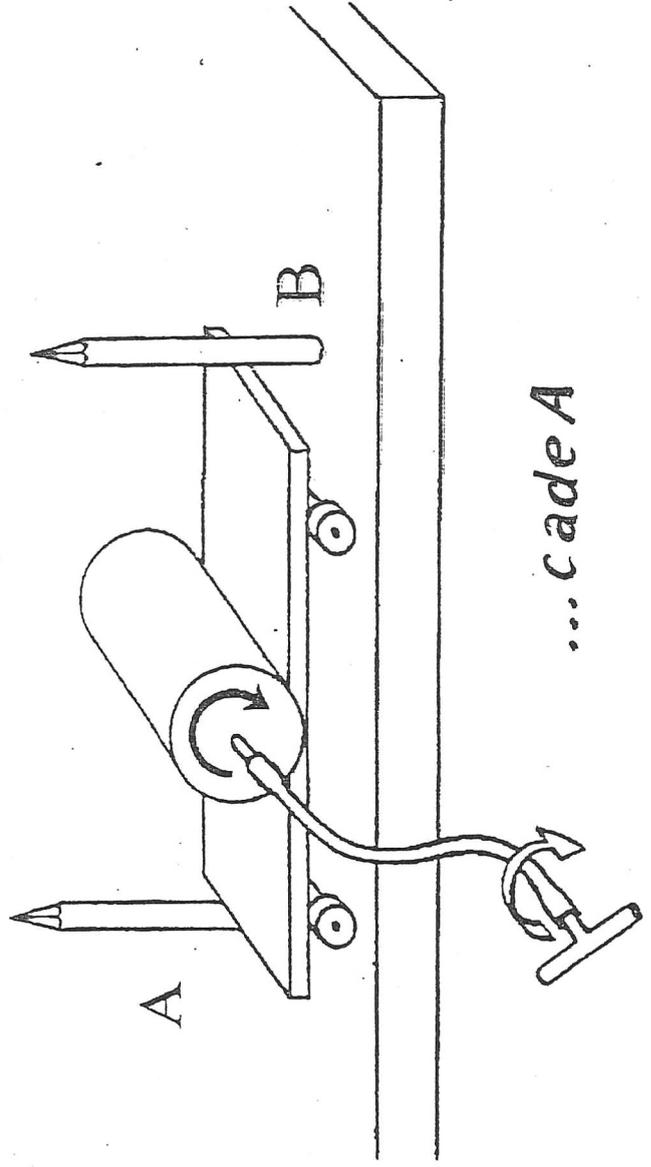
Poiché non sposta il suo punto di applicazione, non compie lavoro

(dal sito)

... prove osservative

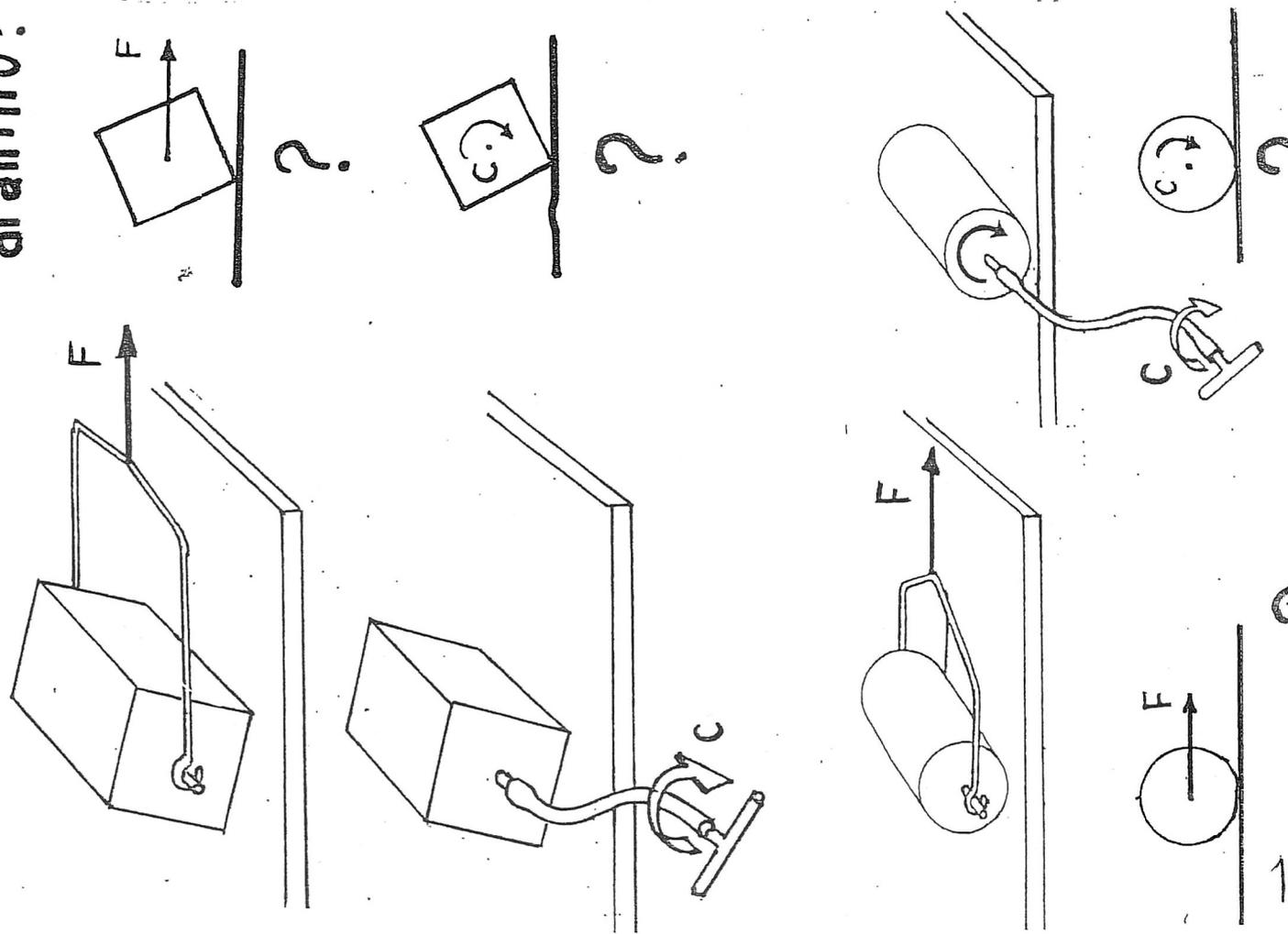
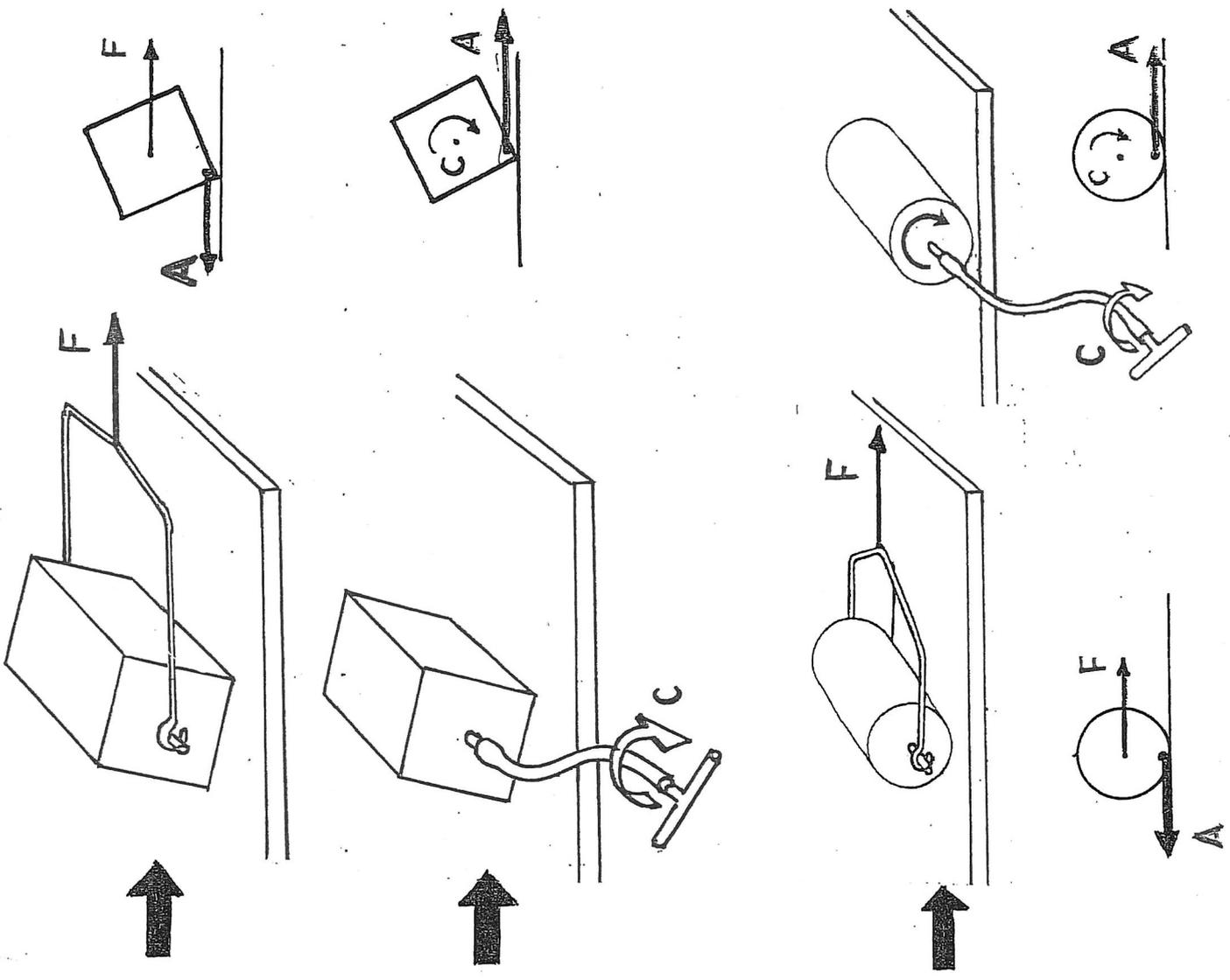


...cade B

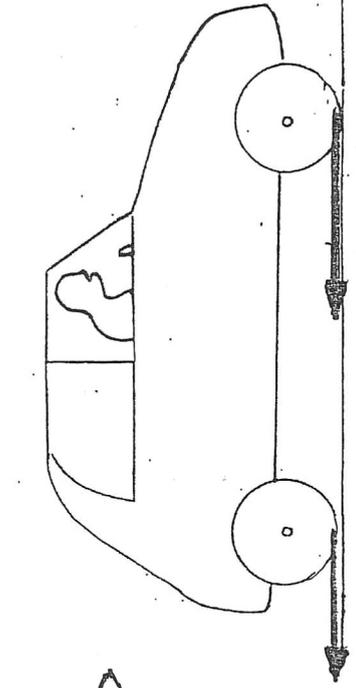
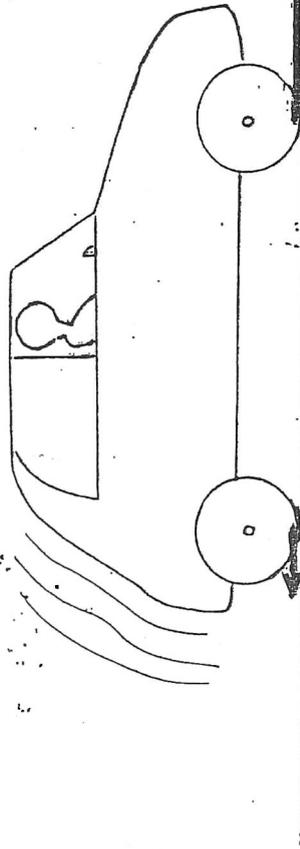
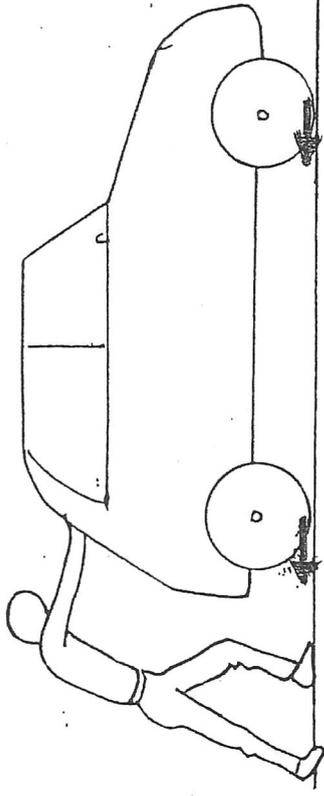
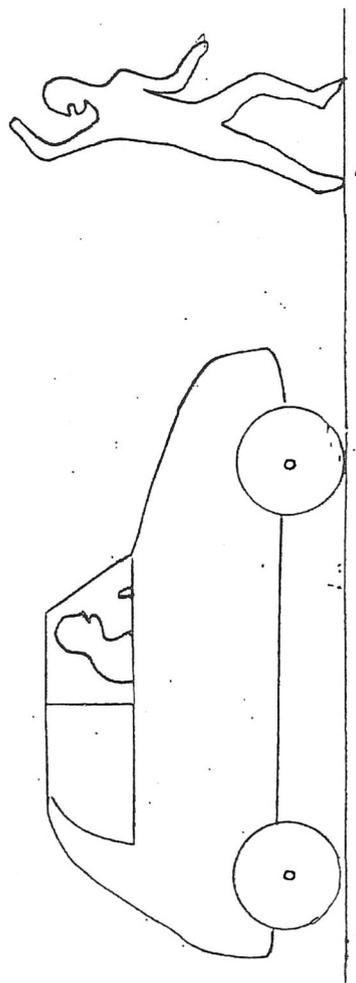
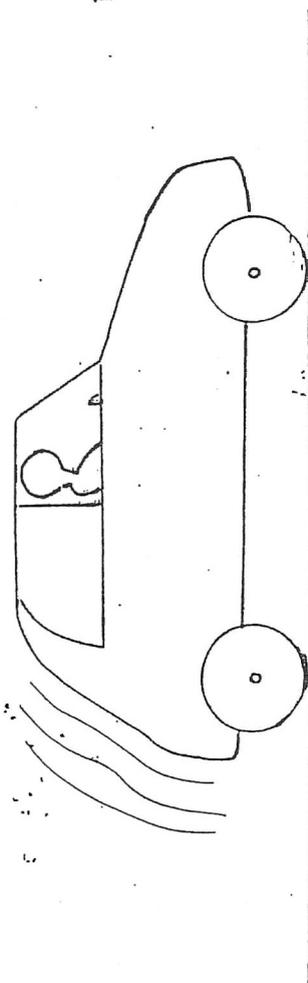
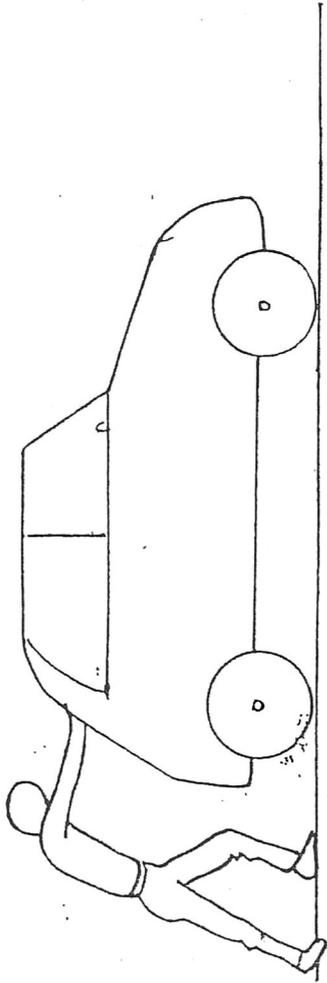


...cade A

.. quale forza di attrito?



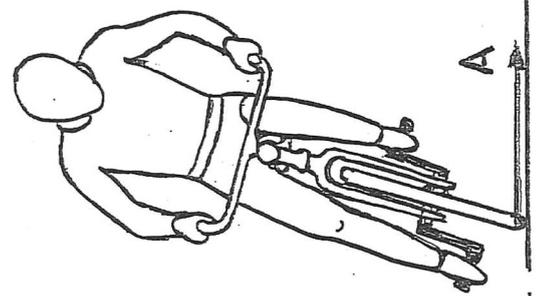
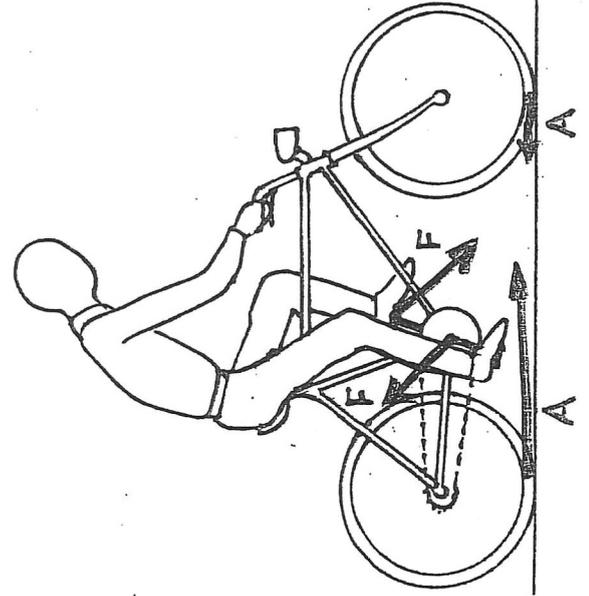
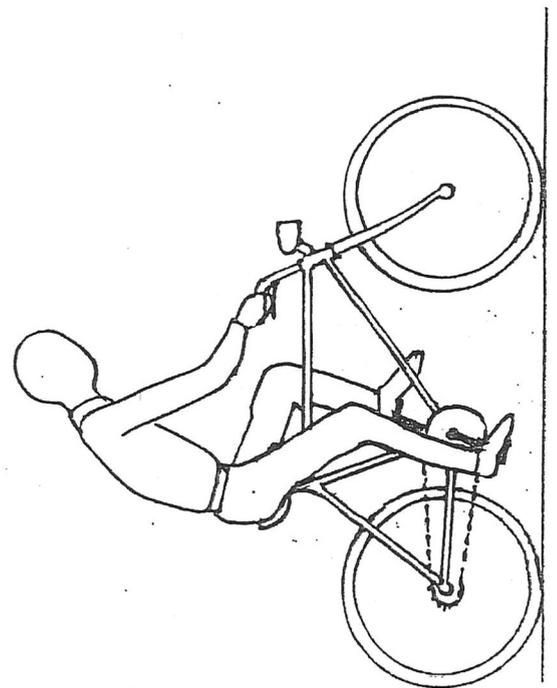
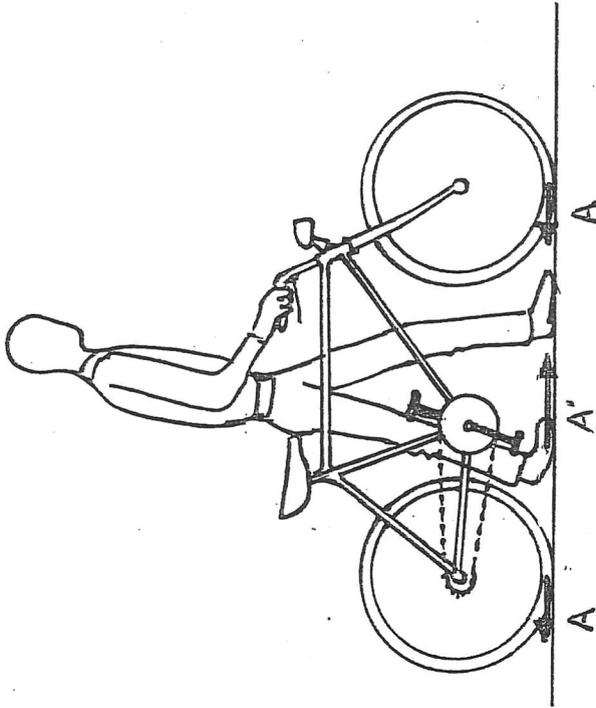
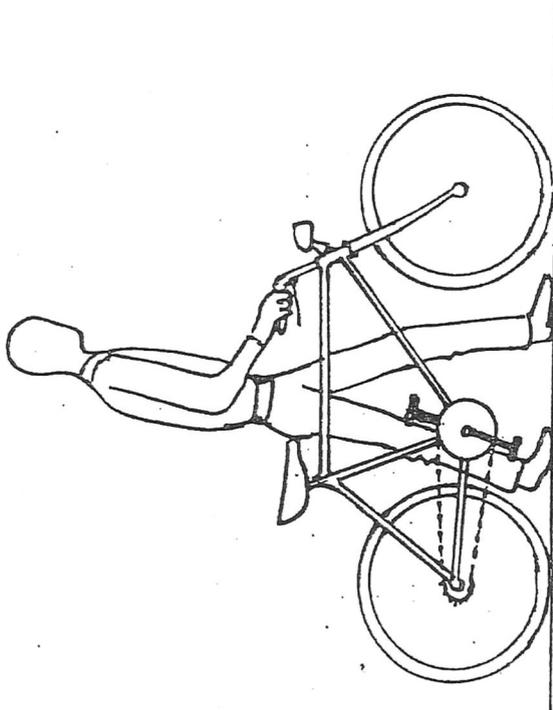
quali forze di attrito? (trazione anteriore)



... in frenata!

... in frenata!

... quali forze di attrito?



*... ma perchè un cilindro lanciato su un piano orizzontale.....
prima o poi si ferma?*

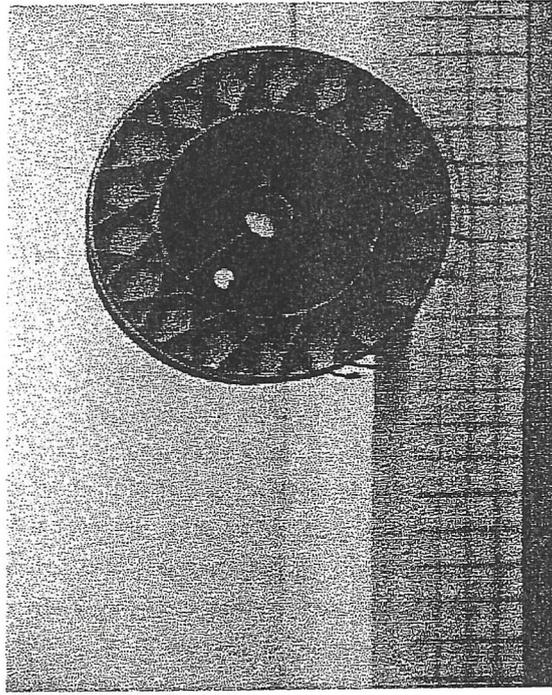
L'attrito volvente

La dissipazione di energia meccanica associata al rotolamento è dovuta a una forma di attrito tipica di questo movimento, l'attrito volvente.

Appoggiamo una ruota su un basamento di gomma piuma

Per lo studio di questo tipo di attrito partiamo da un'indagine sull'interazione tra una ruota e un basamento molto deformabile

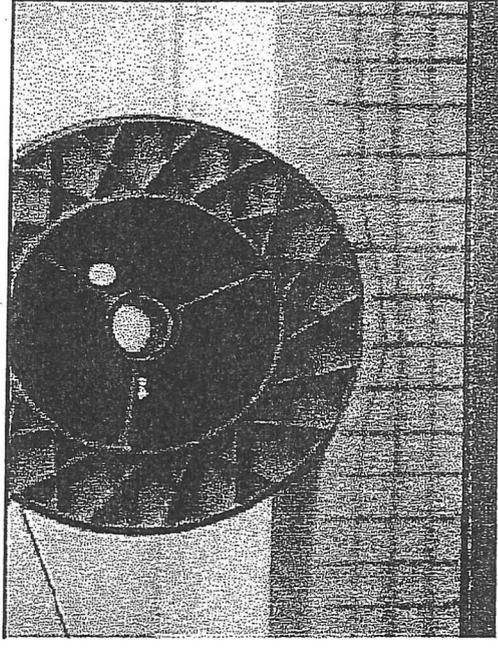
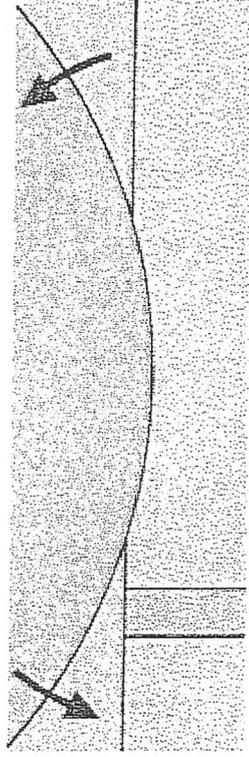
La deformazione delle linee orizzontali dà un'idea dell'intensità delle forze di compressione cui ogni elemento verticale è sottoposto



(dal sito)

Durante il rotolamento la ruota provoca la propagazione di schiacciamenti e rilasci del gruppo di elementi che la sostengono istante per istante mentre si sposta.

...un elemento generico sta per essere raggiunto dall'azione della ruota...



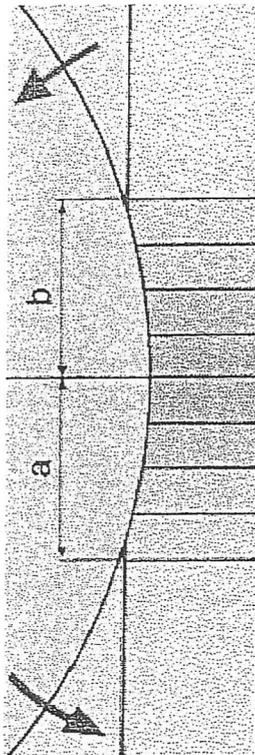
...quando viene schiacciato, l'elemento lavora contro il moto della ruota; dopo che la ruota è passata, si distende lavorando a favore del movimento della ruota

Il ciclo di azioni sulla ruota è ripetuto in modo identico da ognuno degli elementi di cui possiamo pensare composto il basamento.

(dal sito)

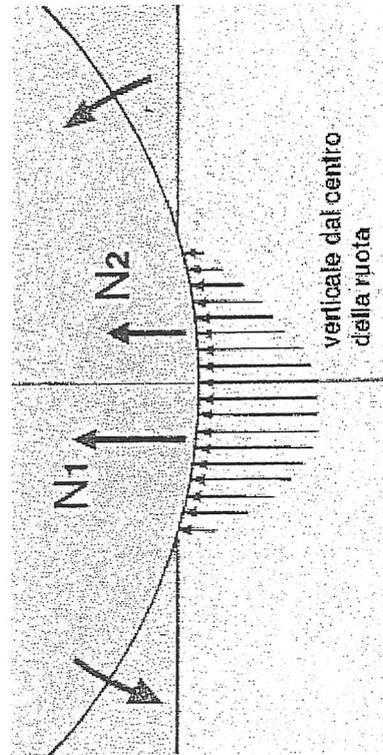
Il gruppo degli elementi deformati in un certo istante dalla ruota che sta rotolando....

Quelli del tratto a si schiacciano e spingono in su contro la ruota; quelli del tratto b si distendono e anch'essi spingono in su.....**MA COMPIONO LO STESSO LAVORO?**



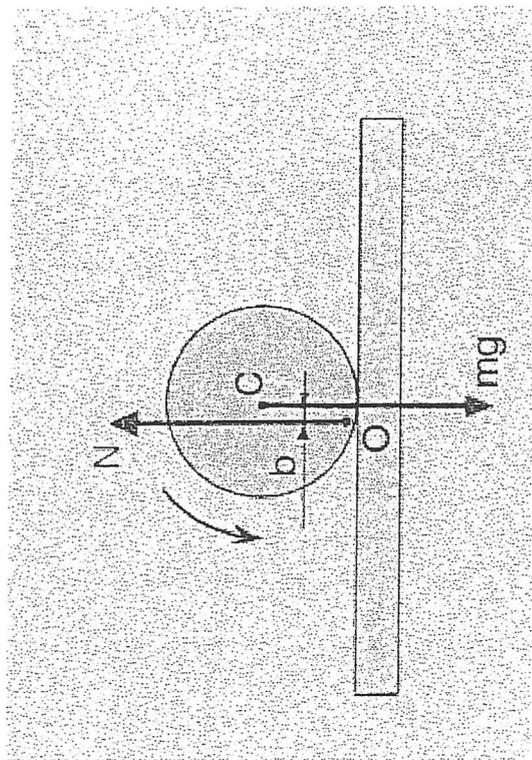
Se il basamento non è perfettamente elastico, la distribuzione delle forze sulla ruota non è simmetrica

La reazione del vincolo è spostata in avanti rispetto al peso



(dal sito)

L'azione dell'attrito volvente è modellizzabile con una coppia (N e mg separate da una distanza b), sempre antagonista al rotolamento



Il valore di b dipende dai materiali che costituiscono basamento e ruota

(dal sito)