

Competenze tecniche e conoscenze fisico-matematiche nella storia dei veicoli a due ruote

Claudio Giorgi*

* DICATAM, Università di Brescia

MATEMATICA E STATISTICA - PLS
(PER LASCIARE IL SEGNO)

UNIVERSITÀ DI SALERNO,

17 APRILE 2013

SCHEMA DELLA CONFERENZA

- Introduzione: motivazioni e concetti preliminari.
- Breve storia della bicicletta: **dalla tecnologia alla conoscenza scientifica.**
- Perché è **facile** guidare una bicicletta?
- Perché è **meno facile** guidare una motocicletta?
- È possibile inventare una **bicicletta diversa?**
- Conclusioni: **dalla conoscenza scientifica alla tecnologia.**

SCHEMA DELLA CONFERENZA

- Introduzione: motivazioni e concetti preliminari.
- Breve storia della bicicletta: **dalla tecnologia alla conoscenza scientifica.**
- Perché è **facile** guidare una bicicletta?
- Perché è **meno facile** guidare una motocicletta?
- È possibile inventare una **bicicletta diversa**?
- Conclusioni: **dalla conoscenza scientifica alla tecnologia.**

SCHEMA DELLA CONFERENZA

- Introduzione: motivazioni e concetti preliminari.
- Breve storia della bicicletta: **dalla tecnologia alla conoscenza scientifica.**
- Perché è **facile** guidare una bicicletta?
- Perché è **meno facile** guidare una motocicletta?
- È possibile inventare una **bicicletta diversa**?
- Conclusioni: **dalla conoscenza scientifica alla tecnologia.**

SCHEMA DELLA CONFERENZA

- Introduzione: motivazioni e concetti preliminari.
- Breve storia della bicicletta: **dalla tecnologia alla conoscenza scientifica.**
- Perché è **facile** guidare una bicicletta?
- Perché è **meno facile** guidare una motocicletta?
- È possibile inventare una **bicicletta diversa**?
- Conclusioni: **dalla conoscenza scientifica alla tecnologia.**

SCHEMA DELLA CONFERENZA

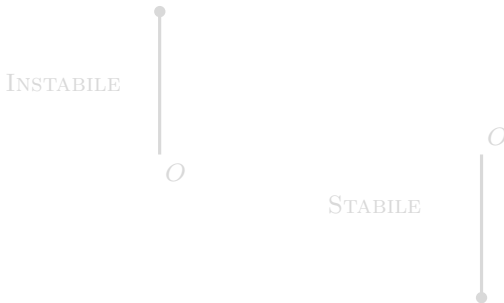
- Introduzione: motivazioni e concetti preliminari.
- Breve storia della bicicletta: **dalla tecnologia alla conoscenza scientifica.**
- Perché è **facile** guidare una bicicletta?
- Perché è **meno facile** guidare una motocicletta?
- È possibile inventare una **bicicletta diversa**?
- Conclusioni: **dalla conoscenza scientifica alla tecnologia.**

SCHEMA DELLA CONFERENZA

- Introduzione: motivazioni e concetti preliminari.
- Breve storia della bicicletta: **dalla tecnologia alla conoscenza scientifica**.
- Perché è **facile** guidare una bicicletta?
- Perché è **meno facile** guidare una motocicletta?
- È possibile inventare una **bicicletta diversa**?
- Conclusioni: **dalla conoscenza scientifica alla tecnologia**.

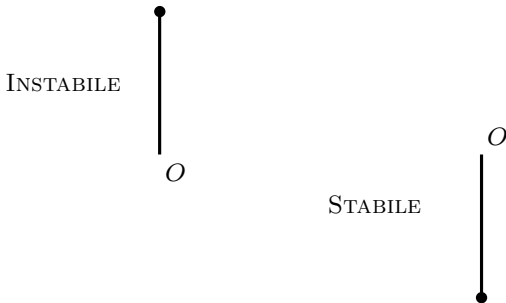
Introduzione

- La nozione di **stabilità dell'equilibrio** viene spesso spiegata con l'esempio del **pendolo**



- Mantenere in **equilibrio** il pendolo nella posizione **INSTABILE** richiede **grande abilità** (giocolieri,...)
- Eppure
- ...

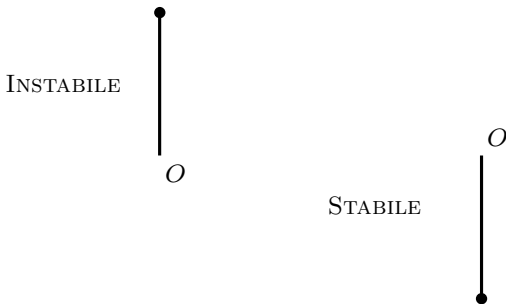
- La nozione di **stabilità dell'equilibrio** viene spesso spiegata con l'esempio del **pendolo**



- Mantenere in **equilibrio** il pendolo nella posizione **INSTABILE** richiede **grande abilità** (giocolieri,...)
- Eppure

...

- La nozione di **stabilità dell'equilibrio** viene spesso spiegata con l'esempio del **pendolo**



- Mantenere in **equilibrio** il pendolo nella posizione **INSTABILE** richiede **grande abilità** (giocolieri,...)
- Eppure
- ...

- Eppure abbiamo imparato **facilmente** ad andare in *bicicletta*...



.... anche se la *bicicletta*, da ferma, si comporta come un pendolo instabile, detto anche **PENDOLO INVERSO**.

- Il motivo risiede nel fatto che, anche a basse velocità, **la bicicletta si stabilizza da sola**.

- Eppure abbiamo imparato **facilmente** ad andare in *bicicletta*...



.... anche se la *bicicletta*, da ferma, si comporta come un pendolo instabile, detto anche **PENDOLO INVERSO**.

- Il motivo risiede nel fatto che, anche a basse velocità, **la bicicletta si stabilizza da sola**.

- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816 (modello *Draisine*), ma la struttura attuale ha origine nel 1885 (modello *Safety bicycle* della Rover Company).
 - Nello stesso anno (1885) nasce la **motocicletta** (modello *Petroleum Reitwagen* di G.Daimler)
 - Il successo della **bicicletta** e della **motocicletta** è enorme, dovuto principalmente alla **facilità di guida**.
 - Tuttavia, solo in epoca recente (circa dal 1950 ad oggi) si è cercato di dare una **spiegazione scientifica** al fenomeno. Tale spiegazione **non è ancora completa**:
- 1 D.E.H. JOHNES, The stability of the bicycle, *Physics Today*, April 1970, 34–40.
 - 2 D.G. WILSON, *Bicycling Science*, MIT Press, Cambridge (MA), 2004.
 - 3 D.V. HERLIHY, *Bicycle: the history*, Yale Univ.Press, New Haven, 2004.

- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816 (modello *Draisine*), ma la struttura attuale ha origine nel 1885 (modello *Safety bicycle* della Rover Company).
- Nello stesso anno (1885) nasce la **motocicletta** (modello *Petroleum Reitwagen* di G.Daimler)
- Il successo della **bicicletta** e della **motocicletta** è enorme, dovuto principalmente alla **facilità di guida**.
- Tuttavia, solo in epoca recente (circa dal 1950 ad oggi) si è cercato di dare una **spiegazione scientifica** al fenomeno. Tale spiegazione **non è ancora completa**:

① D.E.H. JOHNES, The stability of the bicycle, *Physics Today*, April 1970, 34–40.

② D.G. WILSON, *Bicycling Science*, MIT Press, Cambridge (MA), 2004.

③ D.V. HERLIHY, *Bicycle: the history*, Yale Univ.Press, New Haven, 2004.

- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816 (modello *Draisine*), ma la struttura attuale ha origine nel 1885 (modello *Safety bicycle* della Rover Company).
 - Nello stesso anno (1885) nasce la **motocicletta** (modello *Petroleum Reitwagen* di G.Daimler)
 - Il successo della **bicicletta** e della **motocicletta** è enorme, dovuto principalmente alla **facilità di guida**.
 - Tuttavia, solo in epoca recente (circa dal 1950 ad oggi) si è cercato di dare una **spiegazione scientifica** al fenomeno. Tale spiegazione **non è ancora completa**:
- 1 D.E.H. JOHNES, The stability of the bicycle, *Physics Today*, April 1970, 34–40.
 - 2 D.G. WILSON, *Bicycling Science*, MIT Press, Cambridge (MA), 2004.
 - 3 D.V. HERLIHY, *Bicycle: the history*, Yale Univ.Press, New Haven, 2004.

- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816 (modello *Draisine*), ma la struttura attuale ha origine nel 1885 (modello *Safety bicycle* della Rover Company).
- Nello stesso anno (1885) nasce la **motocicletta** (modello *Petroleum Reitwagen* di G.Daimler)
- Il successo della **bicicletta** e della **motocicletta** è enorme, dovuto principalmente alla **facilità di guida**.
- Tuttavia, solo in epoca recente (circa dal 1950 ad oggi) si è cercato di dare una **spiegazione scientifica** al fenomeno. Tale spiegazione **non è ancora completa**:

① D.E.H. JOHNES, The stability of the bicycle, *Physics Today*, April 1970, 34–40.

② D.G. WILSON, *Bicycling Science*, MIT Press, Cambridge (MA), 2004.

③ D.V. HERLIHY, *Bicycle: the history*, Yale Univ.Press, New Haven, 2004.

- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816 (modello *Draisine*), ma la struttura attuale ha origine nel 1885 (modello *Safety bicycle* della Rover Company).
- Nello stesso anno (1885) nasce la **motocicletta** (modello *Petroleum Reitwagen* di G.Daimler)
- Il successo della **bicicletta** e della **motocicletta** è enorme, dovuto principalmente alla **facilità di guida**.
- Tuttavia, solo in epoca recente (circa dal 1950 ad oggi) si è cercato di dare una **spiegazione scientifica** al fenomeno. Tale spiegazione **non è ancora completa**:

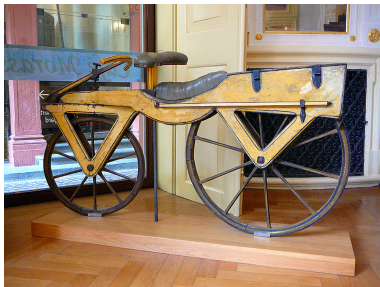
- 1 D.E.H. JOHNES, The stability of the bicycle, *Physics Today*, April 1970, 34–40.
- 2 D.G. WILSON, *Bicycling Science*, MIT Press, Cambridge (MA), 2004.
- 3 D.V. HERLIHY, *Bicycle: the history*, Yale Univ.Press, New Haven, 2004.

- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816 (modello *Draisine*), ma la struttura attuale ha origine nel 1885 (modello *Safety bicycle* della Rover Company).
- Nello stesso anno (1885) nasce la **motocicletta** (modello *Petroleum Reitwagen* di G.Daimler)
- Il successo della **bicicletta** e della **motocicletta** è enorme, dovuto principalmente alla **facilità di guida**.
- Tuttavia, solo in epoca recente (circa dal 1950 ad oggi) si è cercato di dare una **spiegazione scientifica** al fenomeno. Tale spiegazione **non è ancora completa**:

- 1 D.E.H. JOHNES, The stability of the bicycle, *Physics Today*, April 1970, 34–40.
- 2 D.G. WILSON, *Bicycling Science*, MIT Press, Cambridge (MA), 2004.
- 3 D.V. HERLIHY, *Bicycle: the history*, Yale Univ.Press, New Haven, 2004.

Breve storia della bicicletta - 1

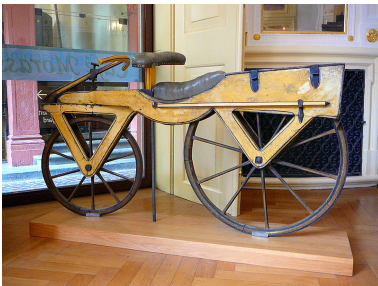
- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816:
il barone tedesco Karl Drais inventa il modello *Draisine*



- DIFETTI: propulsione a spinta, difficile da manovrare.
- Ottiene poco successo ed in pochi anni scompare dal mercato.

Breve storia della bicicletta - 1

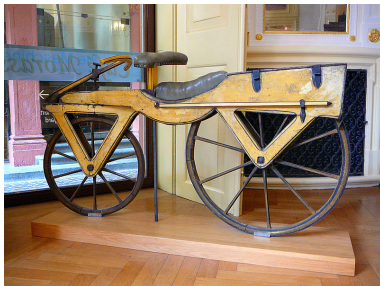
- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816:
il barone tedesco Karl Drais inventa il modello *Draisine*



- **DIFETTI:** propulsione a spinta, difficile da manovrare.
- Ottiene poco successo ed in pochi anni scompare dal mercato.

Breve storia della bicicletta - 1

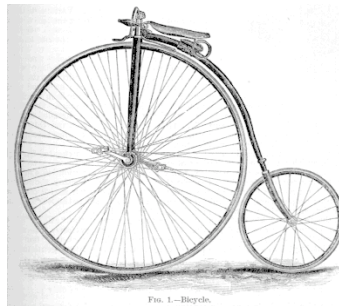
- La **storia della bicicletta** inizia nel 1816:
il barone tedesco Karl Drais inventa il modello *Draisine*



- **DIFETTI:** propulsione a spinta, difficile da manovrare.
- Ottiene poco successo ed in pochi anni scompare dal mercato.

Breve storia della bicicletta - 2

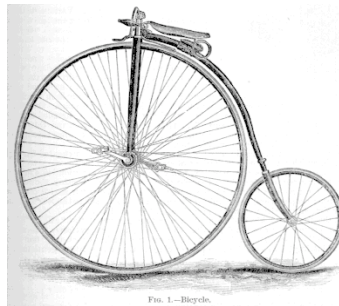
- Agli inizi del 1860 i francesi P. Michaux e P. Lallement aggiunsero **due pedivelle con pedali**, disposte a 180° ed agenti sulla ruota anteriore, più grande di quella posteriore (**modello velocipede**).



- PREGI: ottima soluzione motoria.
- DIFETTI: scarsa stabilità, difficile da manovrare.

Breve storia della bicicletta - 2

- Agli inizi del 1860 i francesi P. Michaux e P. Lallement aggiunsero **due pedivelle con pedali**, disposte a 180° ed agenti sulla ruota anteriore, più grande di quella posteriore (**modello velocipede**).



- **PREGI:** ottima soluzione motoria.
- **DIFETTI:** scarsa stabilità, difficile da manovrare.

Breve storia della bicicletta - 2

- Agli inizi del 1860 i francesi P. Michaux e P. Lallement aggiunsero **due pedivelle con pedali**, disposte a 180° ed agenti sulla ruota anteriore, più grande di quella posteriore (**modello velocipede**).



- **PREGI:** ottima soluzione motoria.
- **DIFETTI:** scarsa stabilità, difficile da manovrare.

Breve storia della bicicletta - 3

- Nel 1885 J. K. Starley introduce la **trazione posteriore**: arretra la sella, posiziona i pedali al centro, introduce la **trasmissione a catena** (modello *Safety bicycle* della Rover, Coventry, UK).



- PREGI: ottima soluzione motoria, ottima distribuzione delle masse e ottima stabilità.
- NOVITÀ TECNICHE: **cuscinetti a sfere**, **pneumatici gonfiabili**, **moltiplica ad ingranaggi per trasmissione a catena**.

Breve storia della bicicletta - 3

- Nel 1885 J. K. Starley introduce la **trazione posteriore**: arretra la sella, posiziona i pedali al centro, introduce la **trasmissione a catena** (modello *Safety bicycle* della Rover, Coventry, UK).



- **PREGI**: ottima soluzione motoria, ottima distribuzione delle masse e ottima stabilità.
- **NOVITÀ TECNICHE**: **cuscinetti a sfere**, **pneumatici gonfiabili**, **moltiplica ad ingranaggi per trasmissione a catena**.

Breve storia della bicicletta - 3

- Nel 1885 J. K. Starley introduce la **trazione posteriore**: arretra la sella, posiziona i pedali al centro, introduce la **trasmissione a catena** (modello *Safety bicycle* della Rover, Coventry, UK).



- PREGI: ottima soluzione motoria, ottima distribuzione delle masse e ottima stabilità.
- NOVITÀ TECNICHE: **cuscinetti a sfere**, **pneumatici gonfiabili**, **moltiplica ad ingranaggi per trasmissione a catena**.

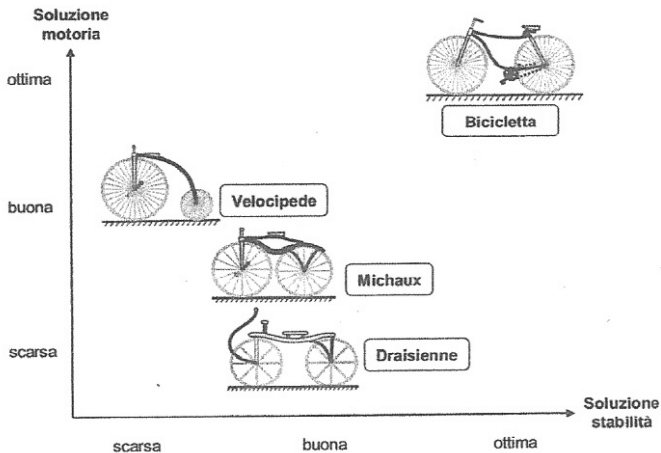


Figura 2.5 – Le invenzioni storiche della bicicletta in un diagramma stabilità-motricità

Andare in bicicletta è facile

Perché è facile guidare una bicicletta?

- a - Le *caratteristiche geometriche* della bicicletta “aiutano” a recuperare l'equilibrio durante il moto.
- b - Durante il movimento si genera una *forza stabilizzante*, che sfrutta sia il *dondolio laterale*, sia l'*oscillazione dello sterzo*.

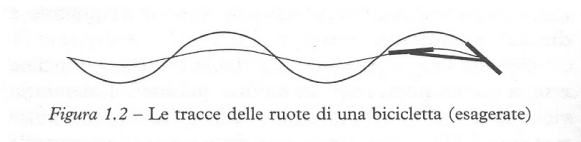


Figura 1.2 – Le tracce delle ruote di una bicicletta (esagerate)

- c - La partenza, ovvero il passaggio *dalla quiete al moto stabile*, è poco faticoso e poco rischioso.

Andare in bicicletta è facile

Perché è facile guidare una bicicletta?

- a - Le *caratteristiche geometriche* della bicicletta “aiutano” a recuperare l'equilibrio durante il moto.
- b - Durante il movimento si genera una *forza stabilizzante*, che sfrutta sia il *dondolio laterale*, sia l'*oscillazione dello sterzo*.

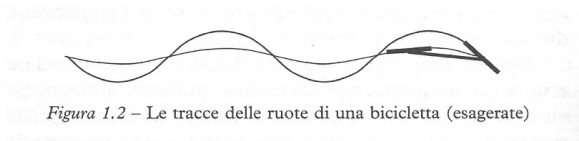


Figura 1.2 – Le tracce delle ruote di una bicicletta (esagerate)

- c - La partenza, ovvero il passaggio *dalla quiete al moto stabile*, è poco faticoso e poco rischioso.

Andare in bicicletta è facile

Perché è facile guidare una bicicletta?

- a - Le *caratteristiche geometriche* della bicicletta “aiutano” a recuperare l'equilibrio durante il moto.
- b - Durante il movimento si genera una *forza stabilizzante*, che sfrutta sia il *dondolio laterale*, sia l'*oscillazione dello sterzo*.

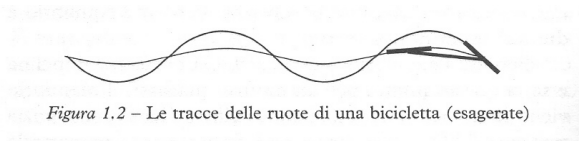


Figura 1.2 – Le tracce delle ruote di una bicicletta (esagerate)

- c - La partenza, ovvero il passaggio *dalla quiete al moto stabile*, è poco faticoso e poco rischioso.

a - Caratteristiche geometriche 1

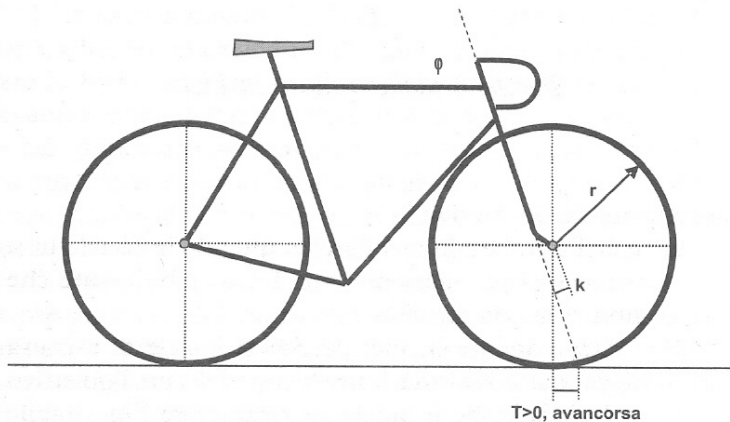
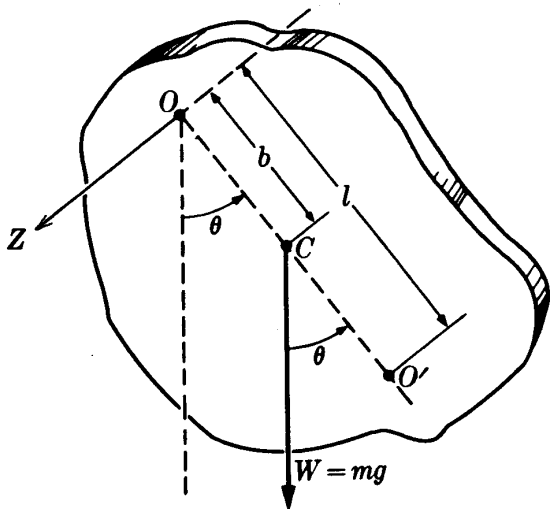


Figura 1.1 – La geometria della bicicletta

a - Caratteristiche geometriche 2

$T > 0$: la ruota anteriore si comporta come un **pendolo fisico** col baricentro C sopra all'asse di sospensione OZ (asse della forcella).



a - Caratteristiche geometriche 3

EFFETTO AVANCORSA $T > 0$: se si inclina la bicicletta di lato, lo sterzo ruota dalla stessa parte.



a - Caratteristiche geometriche 4

EFFETTO “RUOTA A SEGUIRE”:

- se **spingete in avanti** la bicicletta (tenendola per la sella) la ruota anteriore **non sterza**;
- se **tirate indietro** la bicicletta (tenendola per la sella) la ruota anteriore **sterza fino a ruotare di 180°**.

COME LE RUOTE DEL CARRELLO DEL SUPERMERCATO



a - Caratteristiche geometriche 4

EFFETTO “RUOTA A SEGUIRE”:

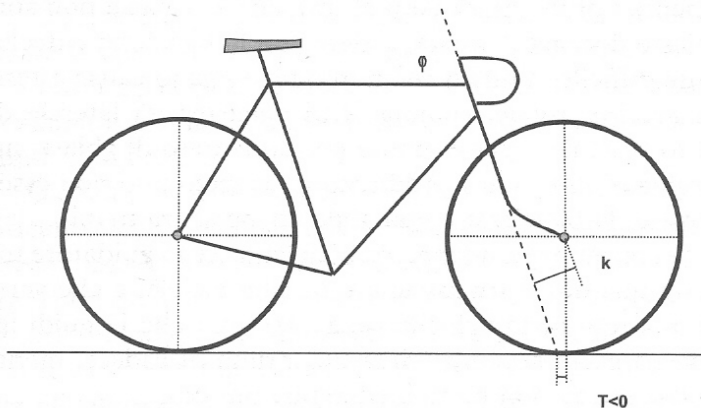
- se **spingete in avanti** la bicicletta (tenendola per la sella) la ruota anteriore **non sterza**;
- se **tirate indietro** la bicicletta (tenendola per la sella) la ruota anteriore **sterza fino a ruotare di 180°** .

COME LE RUOTE DEL CARRELLO DEL SUPERMERCATO



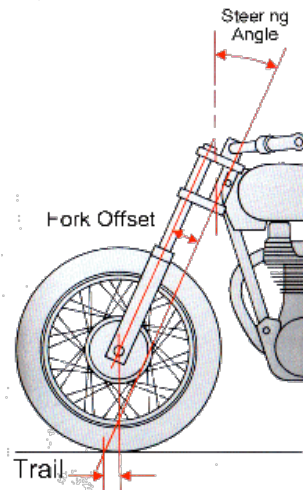
a - Caratteristiche geometriche 5

Per ottenere l'effetto opposto: $T < 0$



a - Caratteristiche geometriche 6

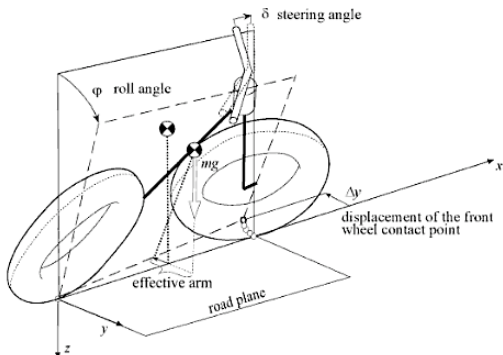
Anche nella motocicletta
l'**avancorsa** è positiva: $T > 0$
(ma non sembra!).



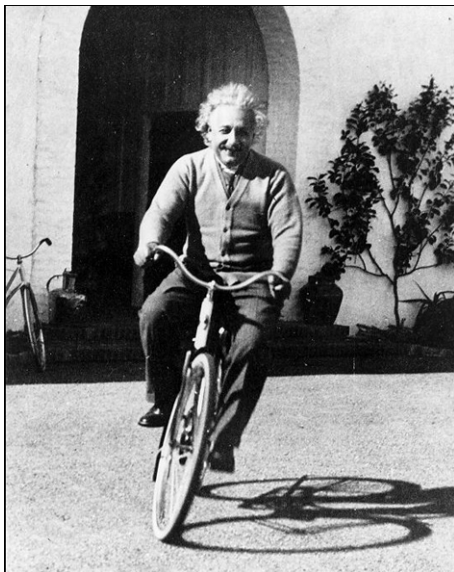
b - Forze che cooperano 1

Il **moto stabile** della bicicletta è sempre oscillante:

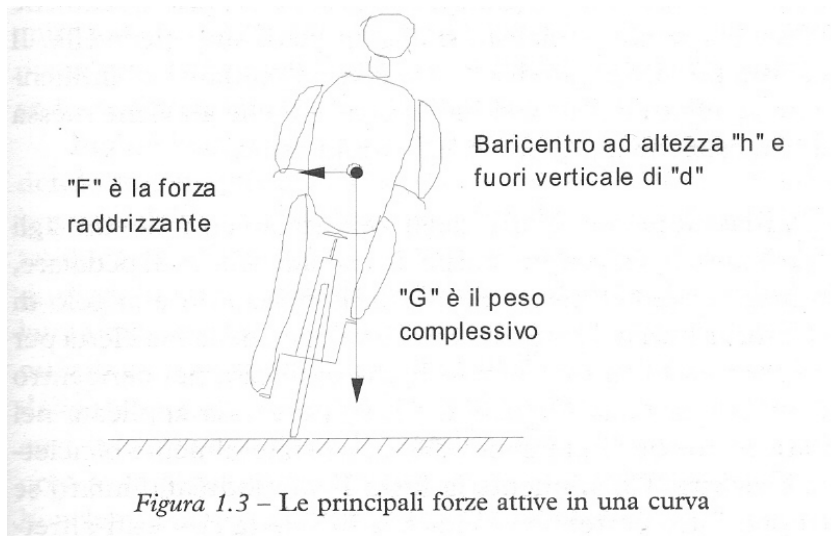
- dapprima **piega** su un lato (**destra**):
- poi la ruota anteriore sterza leggermente (**a destra**);
- il punto di contatto col suolo si sposta (**a sinistra**);
- la traiettoria del baricentro si incurva (**a destra**);
- dal moto rotatorio sorge una forza centrifuga (**verso sinistra**) che **raddrizza** la bicicletta.



b - Forze che cooperano 2



b - Forze che cooperano 3



Modelli matematici (semplici) del moto della bicicletta

Parametri:

angolo di inclinazione (rollio) + angolo di sterzata (imbardata)

- C.BUORA, *L'intelligenza degli indizi*, Liguori ed., Napoli, 2009
Moto passivo (senza controllo umano):
Sistema di due equazioni differenziali del secondo ordine:
equazione di **inclinazione** + equazione di **sterzo**.
- D.AMBROSI, A.BACCIOTTI, G.ROPOLO, *La Matematica della Bicicletta, La Matematica nella Società e nella Cultura*, vol.1 (2008) pp.477-.492
Moto attivo (con controllo umano):
Una equazione differenziale del secondo ordine con controllo:
equazione differenziale di **inclinazione** (2° ordine) + equazione di controllo sullo **sterzo**.

Modelli matematici (semplici) del moto della bicicletta

Parametri:

angolo di inclinazione (rollio) + angolo di sterzata (imbardata)

- C.BUORA, *L'intelligenza degli indizi*, Liguori ed., Napoli, 2009
Moto passivo (senza controllo umano):
Sistema di due equazioni differenziali del secondo ordine:
equazione di **inclinazione** + equazione di **sterzo**.
- D.AMBROSI, A.BACCIOTTI, G.ROPOLO, *La Matematica della Bicicletta, La Matematica nella Società e nella Cultura*, vol.1 (2008) pp.477-.492
Moto attivo (con controllo umano):
Una equazione differenziale del secondo ordine con controllo:
equazione differenziale di **inclinazione** (2° ordine) + equazione di controllo sullo **sterzo**.

Modelli matematici (semplici) del moto della bicicletta

Parametri:

angolo di inclinazione (rollio) + angolo di sterzata (imbardata)

- C.BUORA, *L'intelligenza degli indizi*, Liguori ed., Napoli, 2009
Moto passivo (senza controllo umano):
Sistema di due equazioni differenziali del secondo ordine:
equazione di **inclinazione** + equazione di **sterzo**.
- D.AMBROSI, A.BACCIOTTI, G.ROPOLO, *La Matematica della Bicicletta, La Matematica nella Società e nella Cultura*, vol.1 (2008) pp.477-.492
Moto attivo (con controllo umano):
Una equazione differenziale del secondo ordine con controllo:
equazione differenziale di **inclinazione** (2° ordine) + equazione di controllo sullo **sterzo**.

La prima motocicletta: Daimler 1884



Andare in motocicletta è **meno facile**

Perché è **meno facile** guidare una **motocicletta**?

Sebbene

- a - le *caratteristiche geometriche* della motocicletta siano del tutto simili a quelle della bicicletta.
- b - la partenza risulti **molto facilitata** dalla potenza del motore.

Tuttavia

- c - le *forze in gioco sono più numerose*, pur continuando *miracolosamente* a **cooperare**.

A velocità superiori a 50 Km/h agisce una nuova forza dovuta all'

EFFETTO GIROSCOPICO

Andare in motocicletta è **meno facile**

Perché è **meno facile** guidare una **motocicletta**?

Sebbene

- a - le *caratteristiche geometriche* della motocicletta siano del tutto simili a quelle della bicicletta.
- b - la partenza risulti **molto facilitata** dalla potenza del motore.

Tuttavia

- c - le *forze in gioco sono più numerose*, pur continuando *miracolosamente* a **cooperare**.

A velocità superiori a 50 Km/h agisce una nuova forza dovuta all'

EFFETTO GIROSCOPICO

Andare in motocicletta è **meno facile**

Perché è **meno facile** guidare una **motocicletta**?

Sebbene

- a - le *caratteristiche geometriche* della motocicletta siano del tutto simili a quelle della bicicletta.
- b - la partenza risulti **molto facilitata** dalla potenza del motore.

Tuttavia

- c - le *forze in gioco sono più numerose*, pur continuando *miracolosamente* a **cooperare**.

A velocità superiori a 50 Km/h agisce una nuova forza dovuta all'

EFFETTO GIROSCOPICO

Andare in motocicletta è **meno facile**

Perché è **meno facile** guidare una **motocicletta**?

Sebbene

- a - le *caratteristiche geometriche* della motocicletta siano del tutto simili a quelle della bicicletta.
- b - la partenza risulti **molto facilitata** dalla potenza del motore.

Tuttavia

- c - le *forze in gioco sono più numerose*, pur continuando *miracolosamente* a **cooperare**.

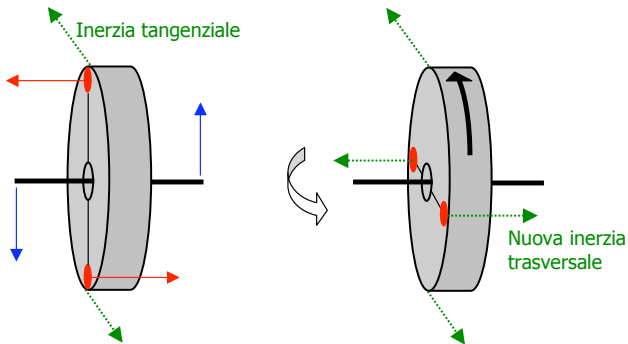
A velocità superiori a 50 Km/h agisce una nuova forza dovuta all'

EFFETTO GIROSCOPICO

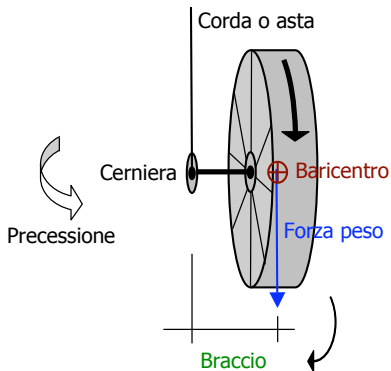
LA RUOTA COME GIROSCOPIO.

Se al manubrio viene applicata la **coppia blu**, allora:

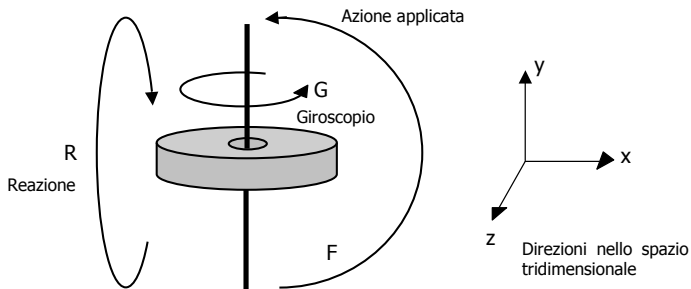
- A SINISTRA: ruota ferma. Effetto: **la ruota si inclina di lato**
- A DESTRA: ruota in rotazione. Effetto: **la ruota sterza**



ESEMPIO

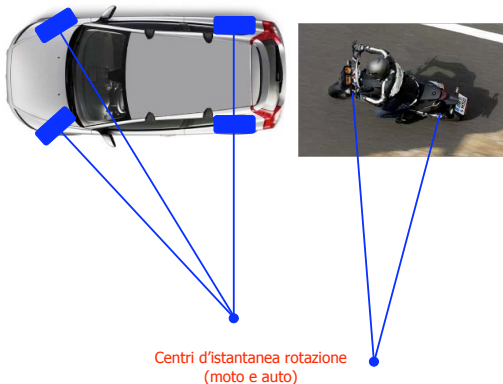


CARATTERISTICA DELL'EFFETTO GIROSCOPICO



Effetto Giroscopico - 4

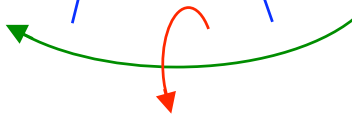
Il raggio della curva (distanza della moto dal centro di istantanea rotazione) dipende dall'angolo di sterzo (imbardata).



Effetto Giroscopico - 5

Per mantenere la moto in curva

- si deve applicare una **torsione sul manubrio** (in verde)
- l'effetto giroscopico produce un **rollio che rialza la moto** (in rosso)



Torsione impressa

Effetto giroscopico

Effetto Giroscopico - 6



Andare in motocicletta è **meno facile** - 1

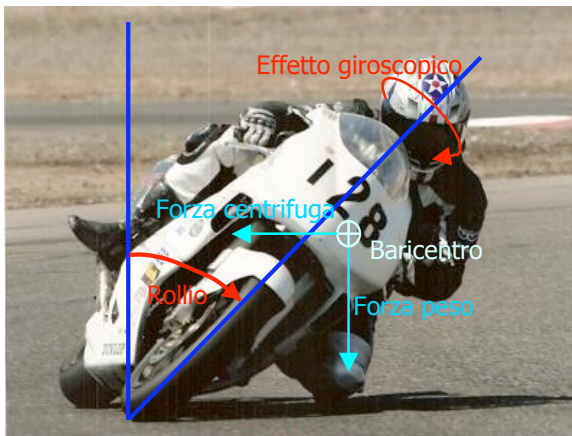
FORZE IN GIOCO:

- forza peso
- forza centrifuga
- effetto giroscopico \implies

CONSEGUENZE:

baricentro più basso \implies caduta

RISCHI:



CADUTA DI J.LORENZO A JERES DE LA FRONTERA: Moto GP 2008-09



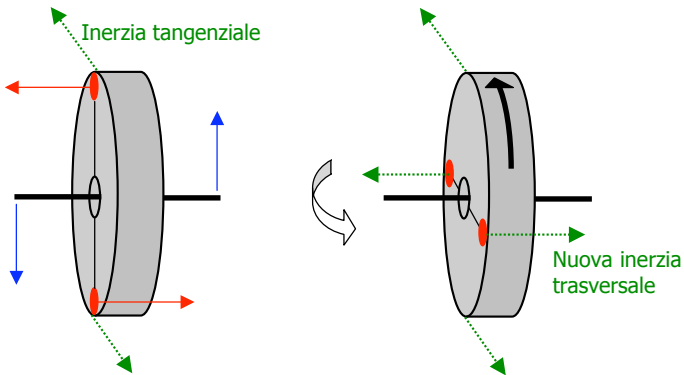
Andare in motocicletta è **meno facile** - 3

Per rialzarsi in curva si può **CHIUDERE LO STERZO**
.... Ma non è una manovra intuitiva!



Andare in motocicletta è meno facile - 4

Perchè **CHIUDERE LO STERZO** in curva permette di rialzarsi?
(figura di destra: pensate di **guardare la ruota dall'alto**)



Semplici riferimenti bibliografici:

- V. COSSALTER, *Cinematica e dinamica della motocicletta*, Progetto ed., Padova, 2001

SITO WEB

http://www.dinamoto.it/dinamoto/8_on-line_papers/libro_cin_e_din_moto/libro.html

- G. COCCO, *Effetto moto. Dinamica e tecnica della motocicletta*, Giorgio Nada ed., Milano, 2008

Semplici riferimenti bibliografici:

- V. COSSALTER, *Cinematica e dinamica della motocicletta*, Progetto ed., Padova, 2001

SITO WEB

http://www.dinamoto.it/dinamoto/8_on-line_papers/libro_cin_e_din_moto/libro.html

- G. COCCO, *Effetto moto. Dinamica e tecnica della motocicletta*, Giorgio Nada ed., Milano, 2008

È possibile inventare una **bicicletta diversa?** - 1



È possibile inventare una **bicicletta diversa?** - 2



Conclusioni

I futuri sviluppi della **tecnologia ciclistica** saranno basati sulla **modellazione matematica** e sulla **simulazione numerica**.

Le *competenze tecniche* e le *abilità artigianali* (skill) sono ormai **insufficienti** a dare impulso al **progresso tecnologico**.

