

---

# Giroscopi, girobussole e sistemi di guida inerziale

(Ing. Stefano Di Cairano)

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

---

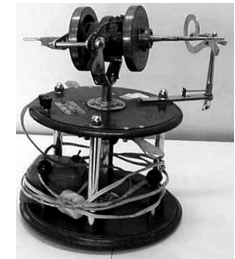
## Giroscopi e Sistemi di Guida Inerziale

- Scopi:
  1. Fornire misurazioni di velocità e accelerazioni angolari
  2. Fornire misurazioni di posizione e velocità rispetto ad un sistema inerziale fissato
  3. Regolazione automatica e mantenimento della rotta
- Applicazioni:
  - Aeronautica, aerospazio, balistica
  - Navigazione
  - Robotica mobile
  - Sistemi di guida automatica

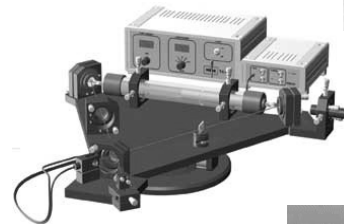
**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Tipi di Giroscopi

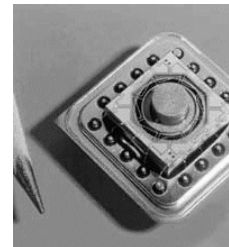
–meccanici (basso costo, grandi dimensioni, scarsa precisione, soggetti ad usura).



–ad anello laser (alto costo, precisione eccellente, dimensioni contenute, non soggetti ad usura).



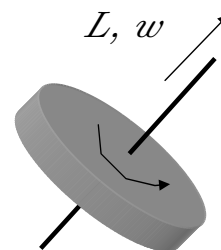
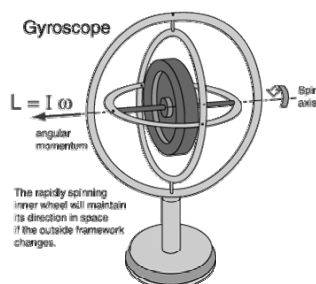
–microelettronici (poco costosi, bassa precisione, miniaturizzati, soggetti ad usura).



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Il Giroscopio Meccanico

Un disco rotante intorno ad un asse (spin) inserito in una sospensione cardanica



Il disco ruota intorno al suo asse con velocità angolare  $w$  dunque momento angolare  $L=wI$  ( $I$ : momento di inerzia del disco)

Se il momento delle forze esterne è nullo  $L$  è costante

Anche se gli anelli di supporto si muovono, l'asse di spin resta lo stesso (funzione di Girobussola)

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

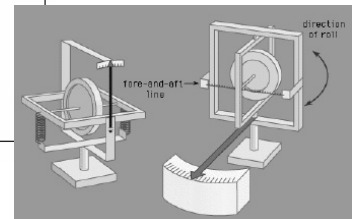
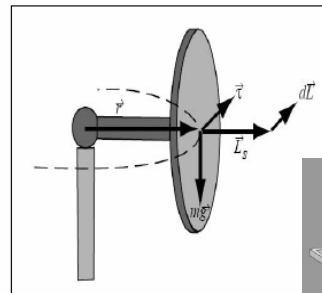
# Moti di Precessione

Se il momento esterno è nullo l'asse di rotazione mantiene sempre lo stesso puntamento

Se si applica una forza  $F$  ortogonale all'asse di spin con coppia  $\tau$  si genera un moto di precessione ortogonale al piano di  $F$  e  $w$ .  
La frequenza di tale moto è:

$$\Omega = \frac{\tau}{I\omega}$$

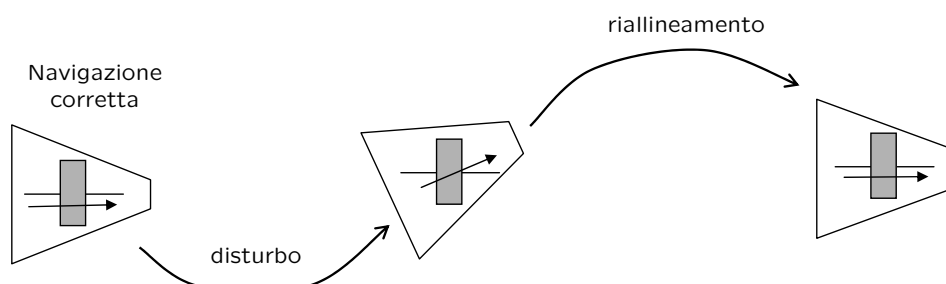
L'accelerazione di un veicolo può essere analizzata dalla precessione di un giroscopio posto su questo



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Girobussola

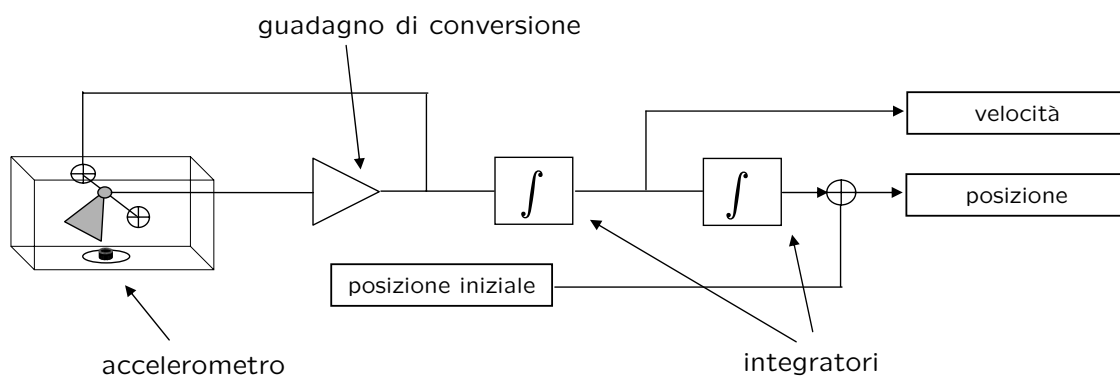
- giroscopio utilizzato per la localizzazione del Nord
- struttura imperniata sul veicolo e isolata: nessuna forza esterna sull'asse di spin
- l'asse di spin viene orientato verso nord e posto in rotazione
- anche se il veicolo cambia la sua orientazione l'asse di spin si mantiene verso Nord fornendo un riferimento costante



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Guida Inerziale

- Serve per ottenere una stima precisa della propria posizione e velocità rispetto ad un sistema inerziale fissato
- utilizza solo misurazioni interne
- si basa sulla costante misurazione dell'accelerazione lungo gli assi N-S e E-O e sulla doppia integrazione



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Giroscopi e Guida Inerziale

Vogliamo conoscere la nostra posizione attuale con l'uso di sole dati interni e delle informazioni sulla posizione iniziale

### •Problema:

- se gli accelerometri sono solidali al veicolo misurano anche le componenti dovute a accelerazioni verticali
- gli accelerometri devono essere sempre paralleli al terreno

### •Soluzione:

- usare le piattaforme giroscopiche



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Piattaforme Giroscopiche

Struttura:

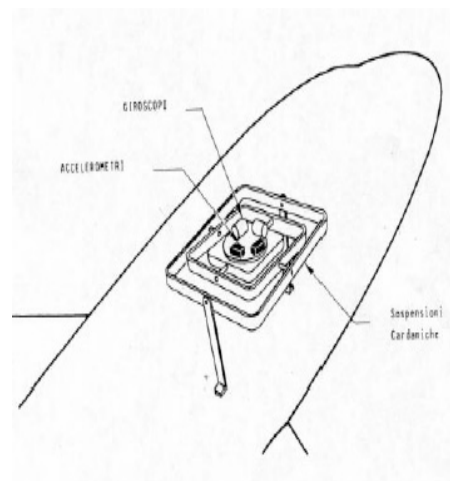
- Sospensione cardanica
- Giroscopi
- Accelerometri

In seguito a rotazione del veicolo:

- La piattaforma tenderebbe ad oscillare
- I giroscopi mantengono l'asse
- Con la differenza di orientazione si genera un segnale di errore per la stabilizzazione

Risultato:

- La piattaforma viene mantenuta parallela al suolo



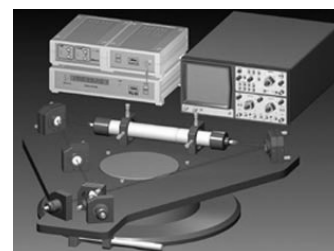
In caso di sistemi ad alte prestazioni si provvede anche all'eliminazione degli effetti della velocità del veicolo e della terra

Si applicano delle coppie all'asse di spin basandosi sulla misura del giroscopio per mantenerlo correttamente orientato

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Giroscopi Ottici

I giroscopi meccanici sono precisi ma ingombranti e soggetti ad usura



Con l'introduzione del Laser si è sviluppata una nuova classe di giroscopi: i Giroscopi ad Anello Laser (LRG- Laser Ring Gyros)



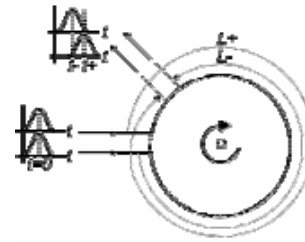
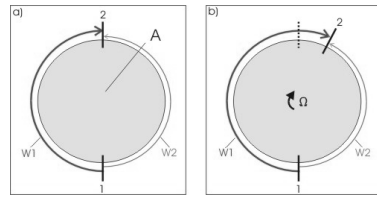
Nessuna componente in movimento: MTBF migliaia di anni



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

# Funzionamento dei RLG

Gli LRG si basano sull'effetto Sagnac, secondo cui due raggi di luce controrotanti su un anello cambiano di fase quando l'anello ruota



La variazione di fase è:

$$\Delta\phi = \frac{4\pi RL}{c\lambda}\omega$$

$c$ = velocità della luce,  $\lambda$ =lunghezza d'onda Laser,  $R$ =raggio,  $L$ =lunghezza percorso,  $\omega$ =velocità angolare

I Giroscopi a Fibre Ottiche (FOG) permettono di aumentare  $L$  senza aumentare le dimensioni del dispositivo arrotolando la fibra

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

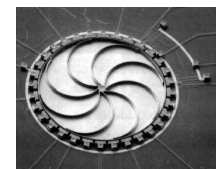
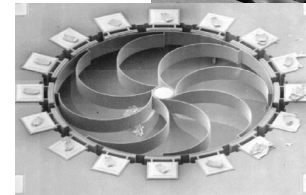
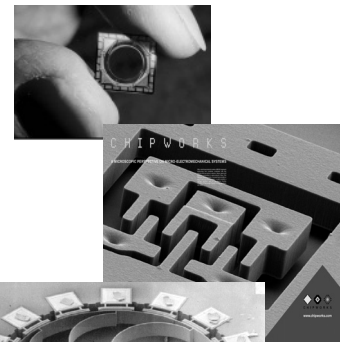
## Giroscopi MEMS

MEMS: Micro-Electrical Mechanical Systems

- Integrano componenti elettroniche e meccaniche
- Miniaturizzati e a basso costo

Vari tipi di giroscopi basati su MEMS

- Tuning forks, vibrating shell ring
- Basati sulla legge di Coriolis, cioè sull'interazione fra moti circolari e lineari



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

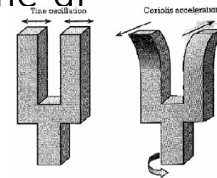
# Giroscopi MEMS: Tecnica

Legge di Coriolis:

“Un corpo con velocità  $v(t)$  in un riferimento con velocità angolare  $\omega(t)$  riceve una forza laterale proporzionale  $\omega(t)$ .”

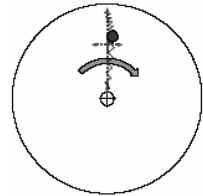
$$\vec{F}_{Co} = -m \vec{a}_{Co} \quad \vec{a}_{Co} = 2 \vec{\omega} \times \vec{v}$$

Misurando gli effetti di tale forza su un corpo in oscillazione si possono dedurre le caratteristiche di rotazione.



Esempio: Tuning forks

- le forche oscillano in una direzione
- la forza di Coriolis induce oscillazione nella direzione ortogonale
- l'ampiezza di questa oscillazione dipende dalla velocità di rotazione



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Performance dei Giroscopi

Parametri caratteristici dei giroscopi:

- Angle Random Walk (ARW): misura (efficace) del rumore sulla misura espresso in  $^{\circ}/(\text{Hz} \times \text{hr})$
- Bias Drift (BD): errore a giroscopio fermo,  $^{\circ}/\text{hr}$
- Input Range (IR): min e max valori misurabili,  $^{\circ}/\text{sec}$ ,  $^{\circ}/\text{sec}^2$
- Sensibilità (S): minima differenza avvertita, %,  $^{\circ}/\text{sec}$ ,  $^{\circ}/\text{sec}^2$
- Coefficiente di non-linearità (NL): distorsione I/O, (%)
- Banda passante (BW): frequenza max di variazione avvertita, Hz

Giroscopi LRG:

- ARW:  $<0.001$ , BD:  $<0.01$ , IR:  $>400$   $^{\circ}/\text{sec}$ , BW  $\sim 100$

Giroscopi MEMS:

- ARW:  $>0.5$ , BD: 10-1000, IR: 50-1000  $^{\circ}/\text{sec}$ , BW  $>70$

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

## Conclusioni

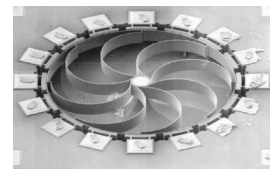
I giroscopi sono strumenti che permettono di misurare le caratteristiche dei moti rotazionali

Nella configurazione girobussola servono per la navigazione autonoma rispetto ad un sistema inerziale

Sono basati su principi differenti ottenendo differenti prestazioni e differenti costi

I giroscopi laser costano anche 10.000 \$, i MEMS meno di 100 \$

Possono costituire una valida scelta per la sensoristica di robot mobili di differenti dimensioni e scopi



**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**

---

# Giroscopi, girobussole e sistemi di guida inerziale

## Fine

**Tecnologie dei Sistemi di Controllo - A. Bemporad - A.a. 2007/08**