

NAVIGAZIONE INERZIALE

Navigazione Inerziale

Principio della Navigazione Inerziale

La navigazione inerziale si basa sui principi della **Dinamica**.

Il primo principio

1. un corpo permane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché non agisce su di esso una causa esterna che modifica tale stato.

In questo caso, conoscendo le condizioni iniziali (punto di partenza, direzione e velocità), la posizione è una nota funzione del tempo.

Il secondo principio

1. se un corpo di massa m è sottoposto ad una forza esterna \mathbf{F} , il suo moto sarà definito in ogni istante da un vettore accelerazione \mathbf{a} , parallelo ad \mathbf{F} , dato dalla relazione:

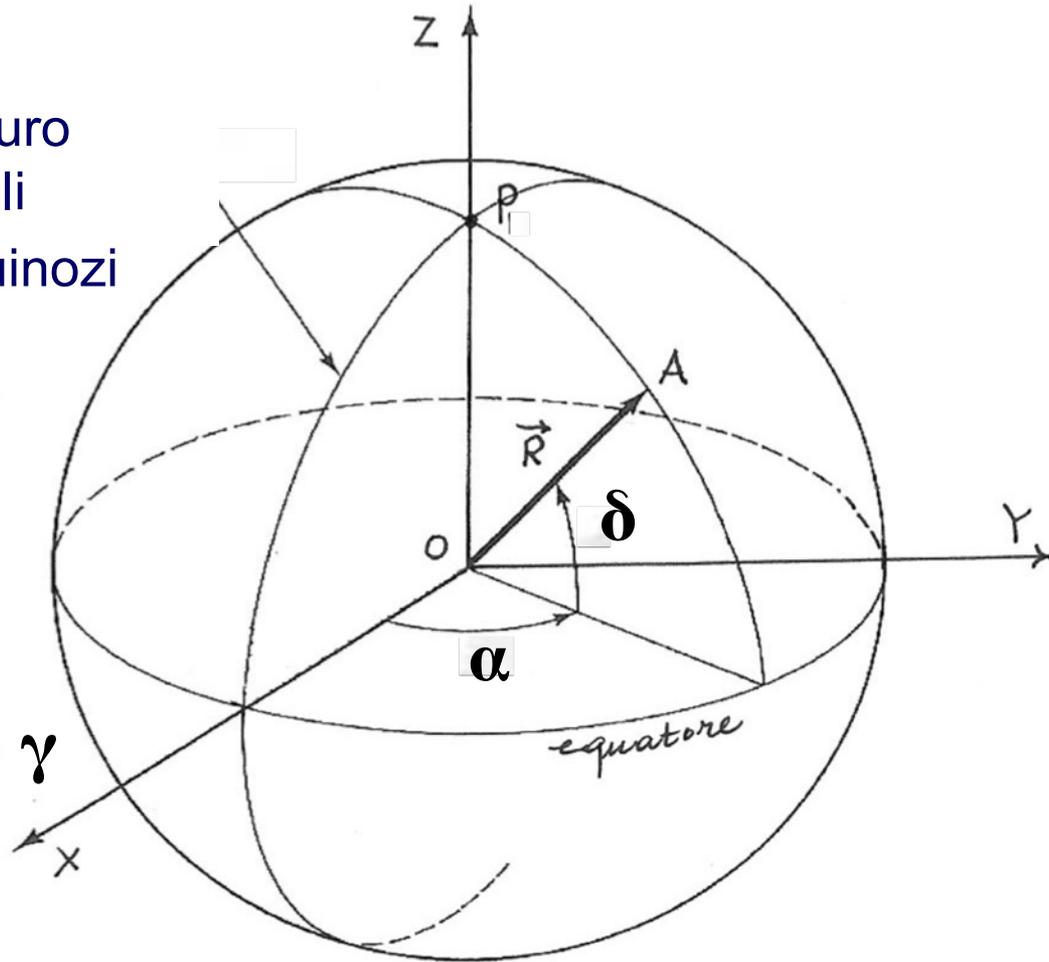
$$\mathbf{a} = \frac{1}{m} \mathbf{F}$$

Navigazione Inerziale

- ◆ Le leggi ora ricordate sono valide, a rigore, soltanto con riferimento ad un sistema solidale non alla Terra ma alle stelle fisse (**terna inerziale**)
- ◆ oppure ad un sistema che sia, rispetto a queste, in moto traslatorio rettilineo ed uniforme (**terna galileiana**).
- ◆ Consideriamo il modello di Terra sferica con asse di rotazione inerziale
- ◆ cioè, *trascurando il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole ed il moto di precessione dell'asse terrestre*) e consideriamo un **sistema di riferimento inerziale**

EQUAZIONE FONDAMENTALE DELLA NAVIGAZIONE INERZIALE

Coluro degli Equinozi



Secondo Principio Dinamica

$$\mathbf{a} = \left(\frac{d^2 \mathbf{R}}{dt^2} \right)_i = \mathbf{f} + \mathbf{G}$$

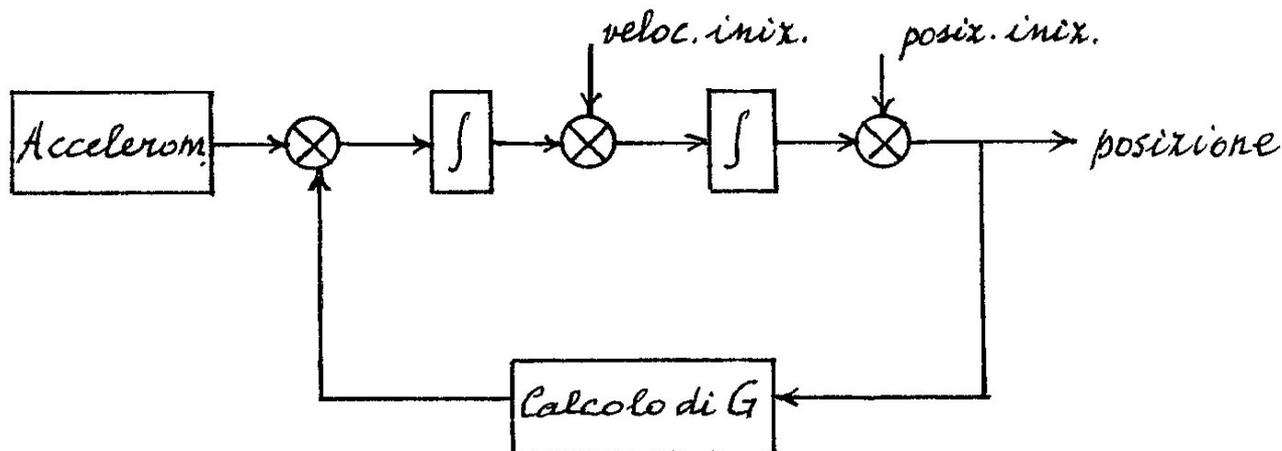
Navigazione Inerziale

- ◆ L'aver considerata la Terra di forma sferica non lede alla generalità in quanto, anche considerando la vera forma della Terra (il **geoide** o quella che più ad essa si avvicina, l'ellissoide), essa per definizione è una **superficie convessa** per cui la posizione è definita da una ben determinata verticale diversa da punto a punto.
- ◆ La Terra di forma sferica rappresenta quindi una figura che conserva fedelmente le coordinate geografiche se ogni punto della sua superficie è definito dalla verticale condotta dal centro di essa.

Navigazione Inerziale

Per ricavare il vettore posizione **R** occorrerebbe:

- ◆ misurare l'accelerazione assoluta **a**;
- ◆ integrando detta misura, tenendo conto del valore della **velocità iniziale**, si ricaverebbe la **velocità**,
- ◆ integrando ancora la velocità calcolata, tenendo conto della **posizione iniziale**, si ricaverebbe la **posizione corrente**.



Navigazione Inerziale

- ◆ Purtroppo, come si vedrà, per il ***principio di equivalenza di Einstein***, è impossibile distinguere tra gli effetti dell'accelerazione inerziale e del campo gravitazionale e, di conseguenza:
- ◆ *non può disporsi di un misuratore di accelerazioni (**accelerometro**) che non sia influenzato dalla presenza del campo gravitazionale **G** pertanto è necessario sommare alla misura effettuata **f** (uguale ad **a-G**) il valore del campo gravitazionale che è funzione della località per ottenere:*

$$**a = f + G**$$

Navigazione Inerziale

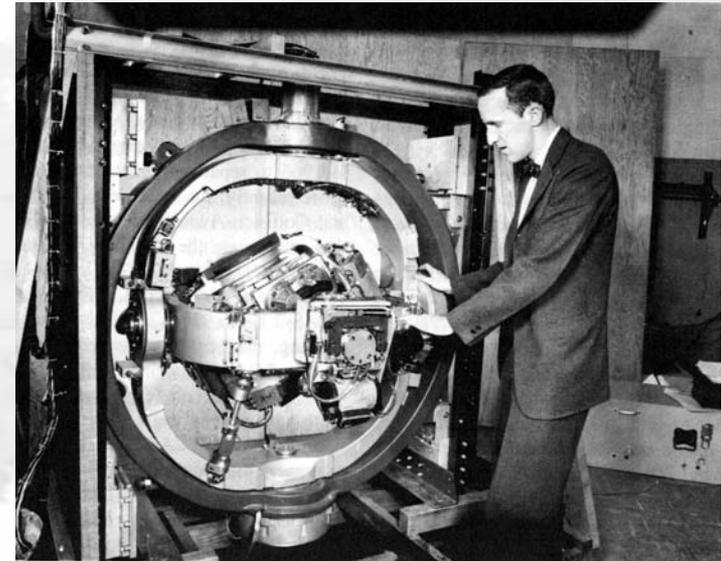
- ◆ La misura del vettore f va effettuata con **tre accelerometri disposti ciascuno lungo un asse di una terna ortogonale**; ogni accelerometro misura una componente di tale vettore.
- ◆ Per ricavarne la direzione è necessario conoscere l'orientamento della terna rispetto alla quale gli accelerometri sono riferiti (**terna di misura**); vi sono **due** diverse filosofie per risolvere questo problema.
 - ◆ ***Sistemi a Piattaforma Asservita***
 - ◆ ***Sistemi Strapdown***

Navigazione Inerziale

Nei sistemi inerziali a piattaforma asservita gli accelerometri vengono posti lungo gli assi di **una terna solidale ad una piattaforma svincolata dal moto del veicolo** attraverso un sistema di sospensioni cardaniche analogo a quello mostrato in figura.

La piattaforma conserva l'assetto prestabilito rispetto allo spazio inerziale (in navigazione spaziale) o rispetto alla Terra (in navigazione marittima o aerea)

la ***terna di misura*** è fatta coincidere con la ***terna di riferimento*** detta anche di ***calcolo***.

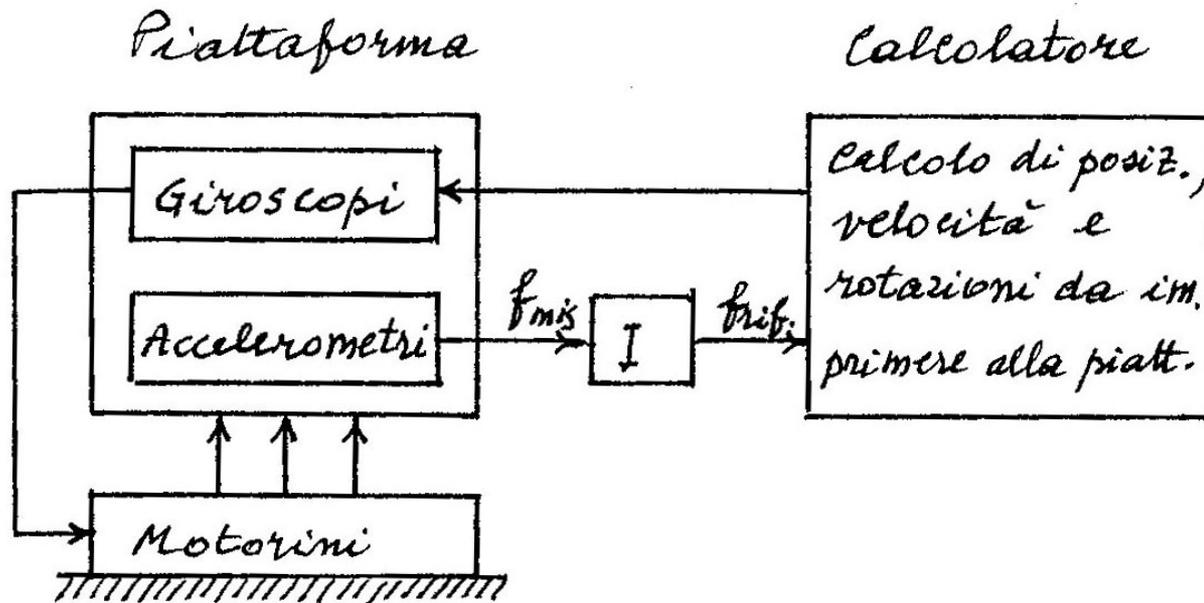


Navigazione Inerziale

- ◆ Il controllo dell' orientamento della piattaforma è assicurato da **tre giroscopi** posti ciascuno lungo gli assi della terna di misura che a loro volta controllano tre motorini posti su ciascuno degli assi dei cardani.
- ◆ In un sistema di navigazione spaziale l' orientamento rigido della piattaforma rispetto ad una terna inerziale è assicurato dalla rigidità dei giroscopi:
- ◆ se **la piattaforma devia**, i giroscopi inviano dei segnali ai motorini dei cardani che la riportano nella posizione desiderata.

SISTEMA A PIATTAFORMA ASSERVITA

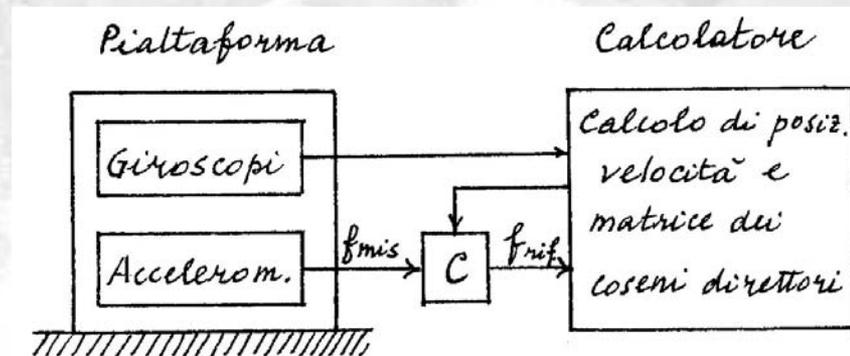
SCHEMA



SISTEMI STRAPDOWN

Navigazione Inerziale

- ◆ Il secondo approccio, adottato nei **sistemi strapdown**, consiste nell'utilizzare una piattaforma rigidamente vincolata (*strapped down*) al veicolo e partecipe della sua dinamica;
- ◆ di conseguenza cambia continuamente l'orientamento della terna di misura ad essa legata rispetto alla terna esterna di riferimento.
- ◆ È necessario pertanto calcolare, istante per istante, **una matrice dei coseni direttori C che permette di passare dalla terna di misura alla terna di riferimento.**



Navigazione Inerziale

- ◆ La variazione dei coseni direttori nel tempo è funzione della velocità angolare con cui una terna si muove rispetto all'altra, velocità fornita dai giroscopi.
- ◆ Per quanto riguarda gli accelerometri, in entrambi i casi, essi sono montati con i loro assi rispettivamente perpendicolari, sulla piattaforma e pertanto misurano le componenti del vettore \mathbf{f} rispetto ad un sistema di assi *rigidamente legati alla piattaforma stessa*.

Navigazione Inerziale

- ◆ I **sistemi strapdown** hanno il vantaggio di essere:
 1. di peso ed ingombro ridotti rispetto ai sistemi a piattaforma asservita
 2. hanno trovato nelle prime applicazioni un vasto impiego nella guida dei missili balistici.
- ◆ Tali sistemi richiedono calcolatori ad altissime prestazioni e giroscopi particolari in quanto l'orientamento degli assi della piattaforma, essendo dipendente dal moto del veicolo, è sottoposto a rapide variazioni angolari e richiede pertanto una continua determinazione mediante calcolo.