
Micro Electro-Mechanical Systems Sensors

MEMS



Luigi Coppolino, Giovanni Mazzeo

Outline

- MEMS Overview
 - Introduzione
- Misura e Sensori
 - Dispositivi
 - Accuratezza, Precisione, Caratteristica
- Esempio di sensore
 - Accelerometro
- Configurazione di un Accelerometro in ChibiStudio

Dove e perchè usare i MEMS

- I MEMS permettono la produzione di SoC come veri e propri laboratori, in cui a bordo vi `e un'ampia gamma di sensori;
- I vantaggi sono numerosi: ingombro ridottissimo, risparmio energetico, aumento della frequenza di lavoro, etc.
- I sensori possono essere utilizzati per monitorare grandezze fisiche dell'ambiente esterno e del chip stesso;
 - e.g. temperatura del die/package, umidità ambientale, etc.

Sensoristica nei Sistemi Embedded

- L'utilizzo più sviluppato dei MEMS è nella sensoristica;
- Riportano una grandezza fisica in termini elettrici sfruttando un determinato fenomeno;
- Ciò ha consentito, ancor prima dell'integrazione in comuni layer per la fotolitografia, la produzione di smart sensors:
 - l'interfaccia analogica/digitale è mediata da bus seriali che permettono, oltre alla lettura del valore fisico, anche la configurazione del sensore stesso (e.g. bit di campionamento, frequenza, etc.).

Parametri dei Dispositivi di Misura

- Le misure di grandezze fisici sono massivamente utilizzare nel controllo di processo;
- Il loro impiego `e critico per via di parametri intrinseci quali:
 - Ritardo di misura;
 - Rumore introdotto dalla misura;
 - Caratteristica intrinseca del dispositivo;
 - Modalità di installazione;
- Negli algoritmi di controllo elementi particolarmente critici sono la precisione statica di misura e la risposta dinamica.

Elementi di Base

- Il dispositivo di misura (o anche trasmettitore) `e cosituito da:
 - Elemento sensibile primario, che fornisce un segnale (il misurando)
 - Trasduttore, che si occupa di trasformare il segnale della grandezza in una quantità elettrica
 - Amplificatore, il quale tipicamente normalizza il segnale
- E.g.:
 - Resistore + ponte di Wheatstone + amplificatore

Accuratezza – 1/2

- L'accuratezza indica quanto si avvicina una misura al valore “vero” del misurando;
 - Il valore vero non è conoscibile, tipicamente si adoperano misurazioni esemplari
 - La misura è influenzata da altre grandezze fisiche che interferiscono col misurando (e.g. temperatura, umidità, elettricità statica, etc.)
- Nell'idea ingegneristica l'accuratezza è intesa come il massimo scostamento tra la curva di taratura e le letture effettuate col sensore

Accuratezza – 2/2

- L'accuratezza viene anche espressa in:
 - valore assoluto, come massimo errore sul campo di misura;
 - come funzione (tipicamente lineare) della misura.
- La mancanza di accuratezza deriva da errori sistematici, tipicamente da errori di calibrazione del sensore;
- La calibrazione consente di far corrispondere l'uscita del sensore ai valori veri di riferimento;
- Va ripetuta periodicamente a causa di usura, sporco accumulato, ecc.

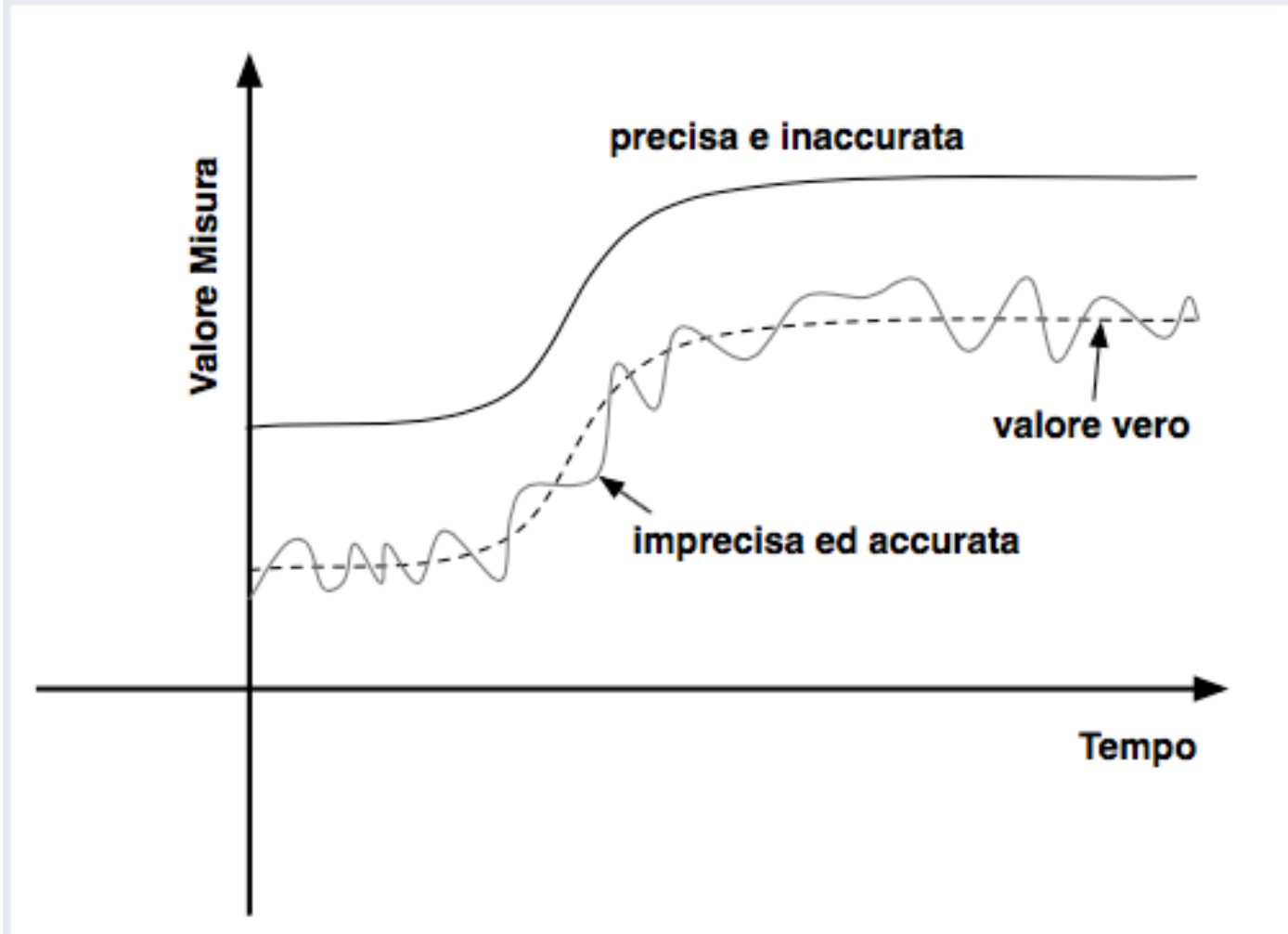
Precisione – 1/2

- Una misura si dice ripetibile, e quindi precisa, quando è possibile effettuare rilevamenti ripetuti della grandezza ottenendo valori prossimi fra loro;
- Si può anche intendere come la dispersione di misure successive dello stesso misurando nelle stesse condizioni (ovvero stesso valore reale);
- Nella concezione ingegneristica è intesa come il massimo scostamento tra una generica lettura e la migliore stima della misura;

Precisione – 2/2

- Deriva da errori casuali:
 - Può essere migliorata con medie di letture successive; attenuando le cause dell'errore.
 - L'attenzione che un ingegnere presta alla precisione talvolta è maggiore dell'accuratezza
- Generalmente l'effort nel migliorare l'accuratezza è maggiore (soluzioni costose)

Accuratezza e Precisione nel tempo

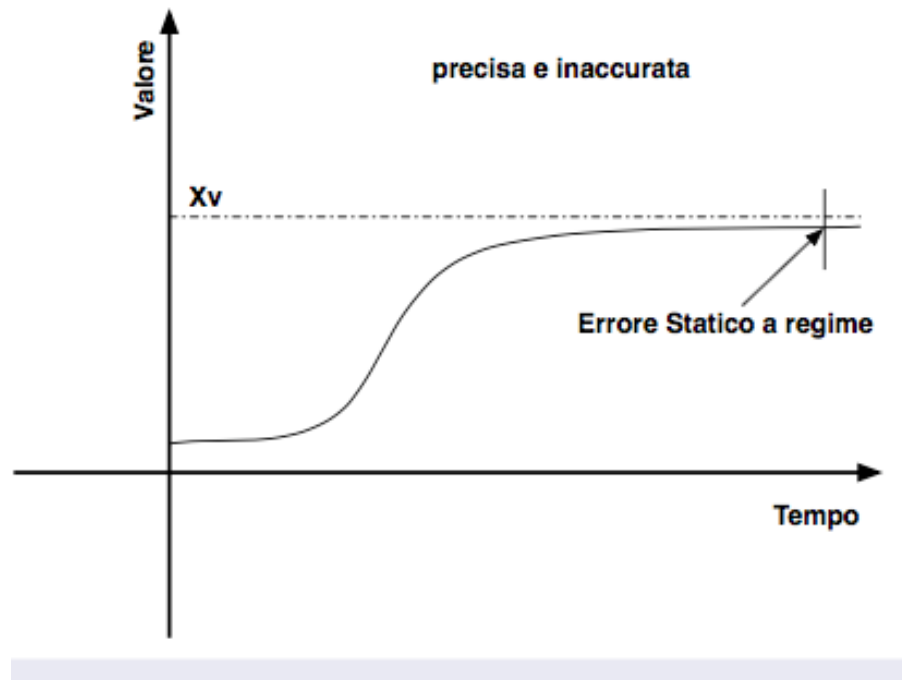


Caratteristica Statica

- La funzione $y = f(u)$ con u misurando ed y misura è detta caratteristica statica:
 - se f è lineare le caratteristiche si diranno lineari;
 - se f è non lineare le caratteristiche saranno non lineari.
- Nel caso generale in cui f è non lineare la scala di valori ottenuta dal misurando va interpretata.

Caratteristica Dinamica

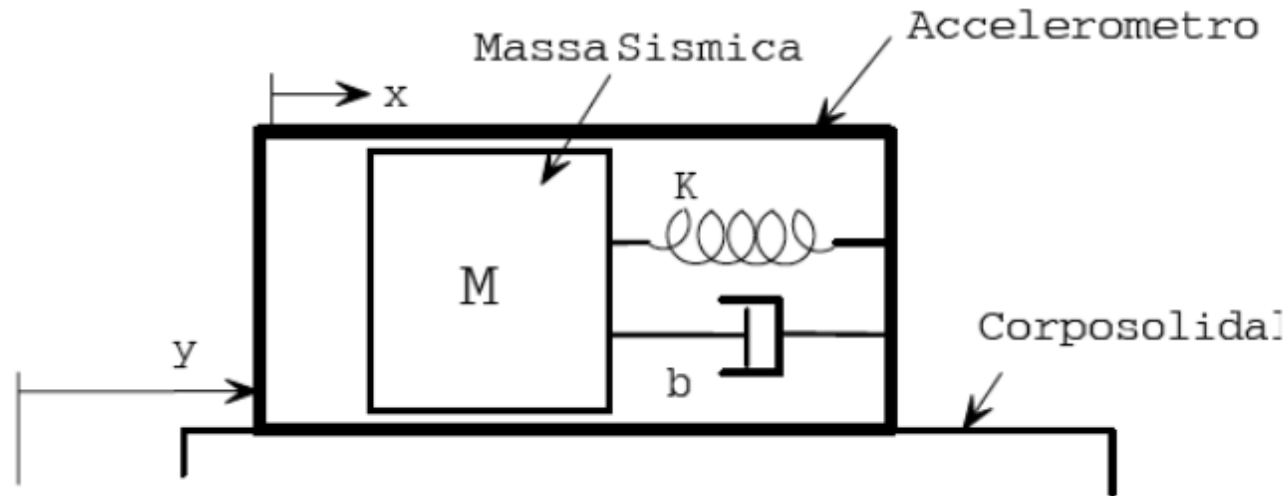
- La risposta di un sensore non è immediata, ma è caratterizzata da un ritardo, intrinseco nella realizzazione fisica dello stesso



Accelerometro – 1/2

- Un accelerometro è in grado di misurare l'accelerazione, effettuando il calcolo della forza rilevata rispetto alla massa dell'oggetto (forza per unità di massa)
- E' solitamente affiancato da giroscopi, magnetometri
- I trasduttori di accelerazione sono basati sulla legge di Newton
$$F=Ma$$
- Conoscendo la massa M è possibile risalire all'accelerazione misurando la forza F .
- Quest'ultima può essere valutata misurando la deformazione di una molla alla quale è collegata la massa attraverso uno strain gage o un sensore piezoelettrico.

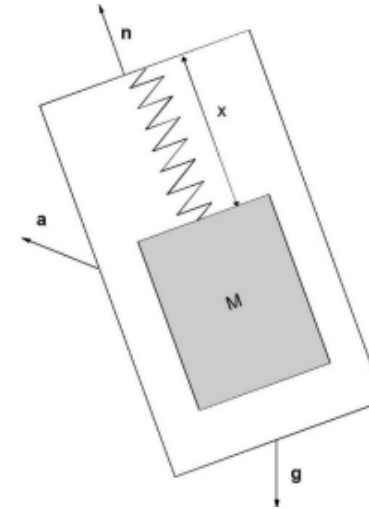
Accelerometro – 2/2



- Si avrà un sistema del secondo ordine:
 - a regime la deformazione misurata è proporzionale all'accelerazione

Accelerometro Monoassiale

- Accelerometro monoassiale
 - Massa collegata ad una molla libera di muoversi in una sola direzione
- Principio di funzionamento
 - Equilibrio delle forze
 - Lo spostamento x è proporzionale alla differenza tra a e g ed è misurato con un sensore di deformazione



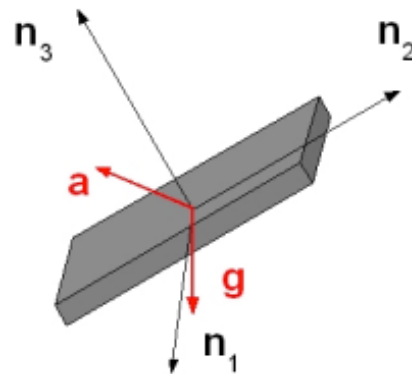
$$K \cdot x = M(a - g) \cdot n$$

$$(a - g) \cdot n = \frac{K \cdot x}{M}$$

a accelerazione del sistema
 g accelerazione di gravità
 x allungamento

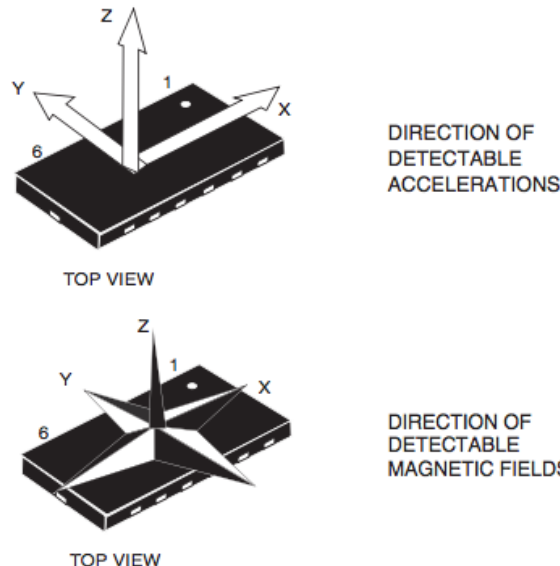
Accelerometro Triassiale

- Accelerometro triassiale
 - Tre accelerometri monoassiali montati perpendicolarmente tra loro
- L'accelerometro triassiale misura la differenza tra accelerazione del sistema e gravità espresse in un sistema di coordinate solidale all'accelerometro



Accelerometri per la misura di inclinazione di segmenti corporei

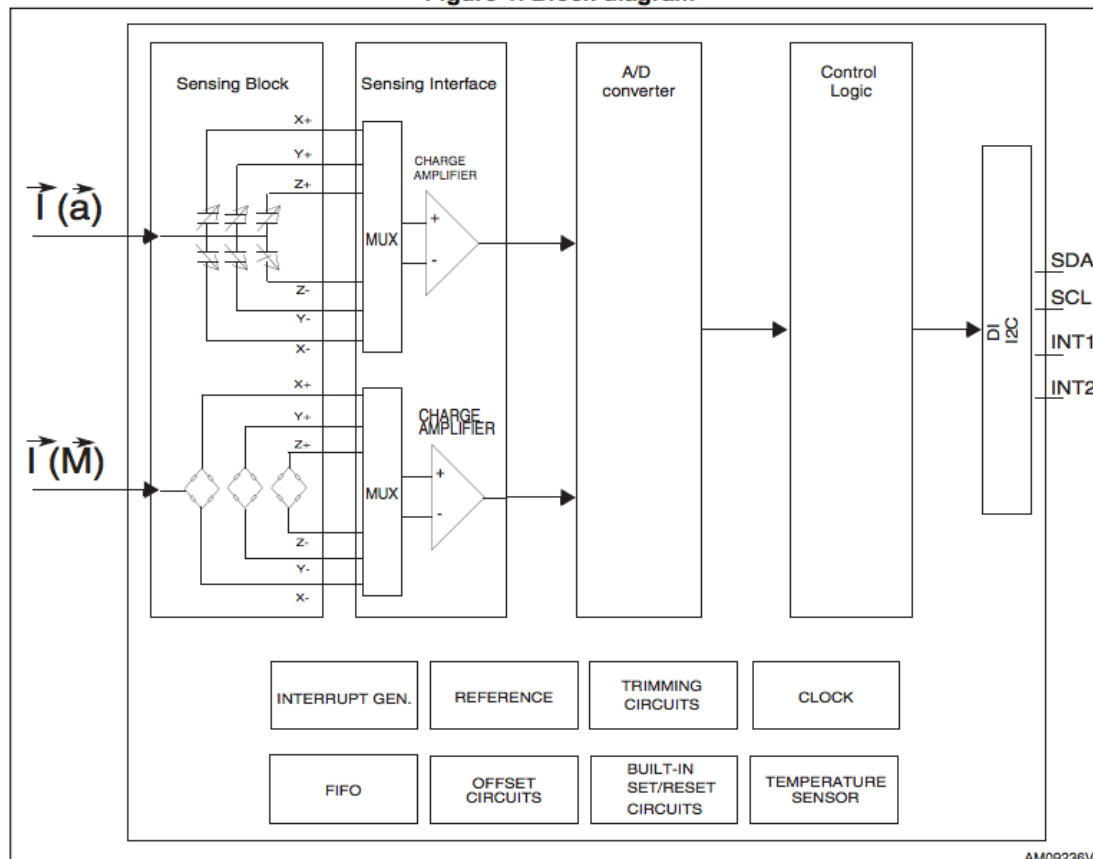
- Si consideri un accelerometro applicato ad un segmento corporeo
- Condizioni statiche ($|a| \ll |g|$)
 - L'accelerometro misura il vettore gravità espresso nel sistema di riferimento del sensore.
 - È possibile determinare l'inclinazione del segmento rispetto alla verticale.



Accelerometro sulla *STM32F3-Discovery*

- La nostra scheda di sviluppo è provvista di un accelerometro triassiale noto come LSM303DLHC
- Presenta già al suo interno un ADC per la conversione dei dati
- Fornisce le misure attraverso l'interfaccia del bus I2C

Figure 1. Block diagram



Programmazione dell'Accelerometro

- Per programmare l'accelerometro sarà necessario:
 - Definire il funzionamento dell'interfaccia I2C
 - Il timing del bus
 - Altri registri di controllo
 - Definire la configurazione del MEMS LSM303DLHCD1
 - Sensitivity – Il livello di sensitivity desiderato
 - Bias – il valore di eventuale correzione che si vuole richiedere al sensore
 - La scala del sensore – Fino a che valore vogliamo che il sensore misuri
 - L'output data rate – La frequenza di fornitura dei valori di output