

Dispositivi Minimamente Invasivi

per Diagnosi, Monitoraggio e Terapia

Esercitazione 11

Alessandro Tognetti

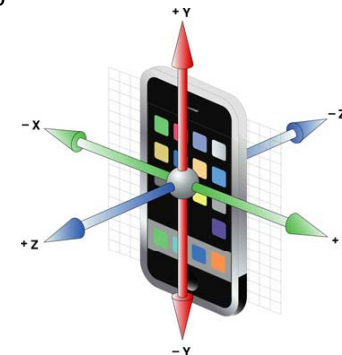
Nicola Carbonaro

a.tognetti@centropiaggio.unipi.it

nicola.carbonaro@centropiaggio.unipi.it

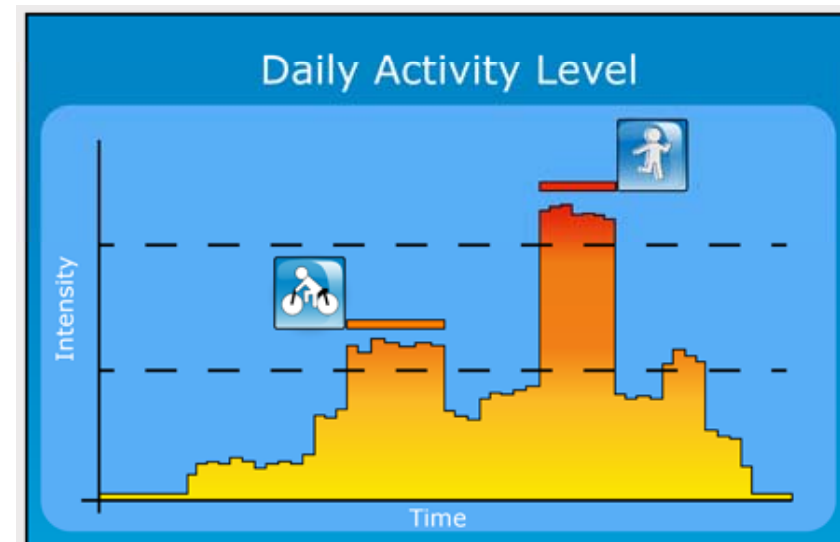
Sensori Inerziali

- Negli ultimi anni gli sviluppi tecnologici, hanno permesso la costruzione di sensori sempre più economici e di dimensioni ridotte, che li rendono perfettamente idonei nell'integrazione in dispositivi "indossabili".
- MEMS - - > Micro Electro-Mechanical Systems
 - Accelerometri, Giroscopi, compassi digitali, sensori inerziali
- Accelerometri sono i sensori maggiormente usati
 - Integrati in smartphone, tablet..etc
- Principali applicazioni:
 - Monitorare il movimento, la postura, tipo e quantità di attività, eventi di caduta, stimare l'energia metabolica consumata, analisi del passo, e le attività quotidiane



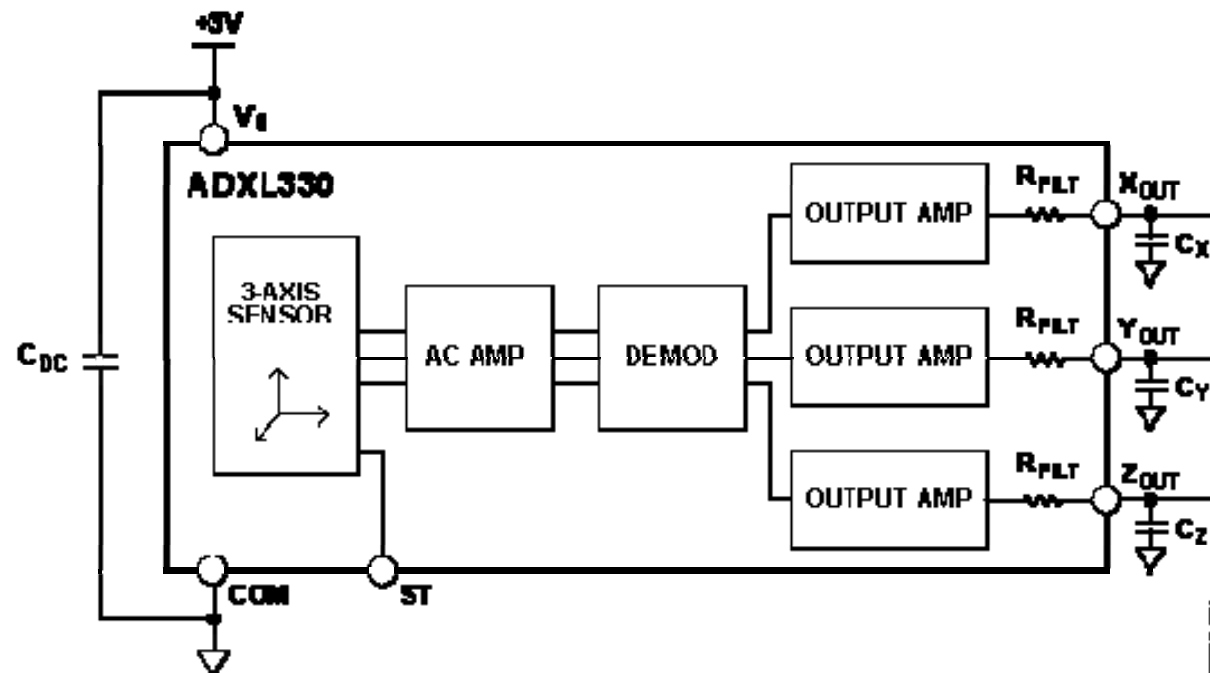
Possibili applicazioni dell'accelerometro

- Le informazioni estratte dai segnali accelerometrici possono essere usate per identificare il contesto di valutazione di parametri fisiologici.
- Alcune ricerche usano il segnale accelerometrico per dare validità e robustezza alla misurazione del Heart Rate Variability (HRV)
 - Il segnale è poco considerabile quando il soggetto in esame svolge attività fisiche (pure di bassa intensità)
- E' possibile identificare l'intensità dell'attività dell'utente/paziente



L'accelerometro

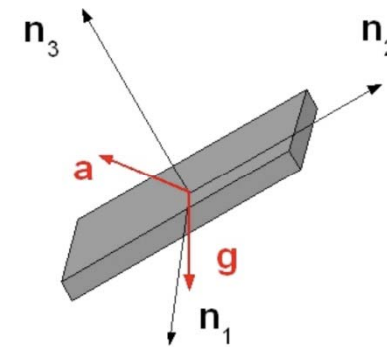
- L' [ADXL330](#) prodotto da Analog Device è di piccole dimensioni, sottile, bassi consumi di potenza, analogico, ed è un completo sensore a 3 assi integrato in un unico chip.



L'accelerometro (2)

- L'accelerometro misura l'accelerazione a cui è sottoposto e l'accelerazione di gravità.
- Considerando un sensore tri-assiale calibrato (i.e. off-set e sensibilità compensata e l'uscita espressa in unità di g), il segnale accelerometrico (y) è formato da due fattori:
 - uno è il vettore gravitazionale (g)
 - l'altro è dovuto all'accelerazione inerziale del sistema (a), entrambi riferiti al sistema di riferimento del sensore:

$$\mathbf{y} = \mathbf{a} - \mathbf{g} \quad \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{pmatrix}$$

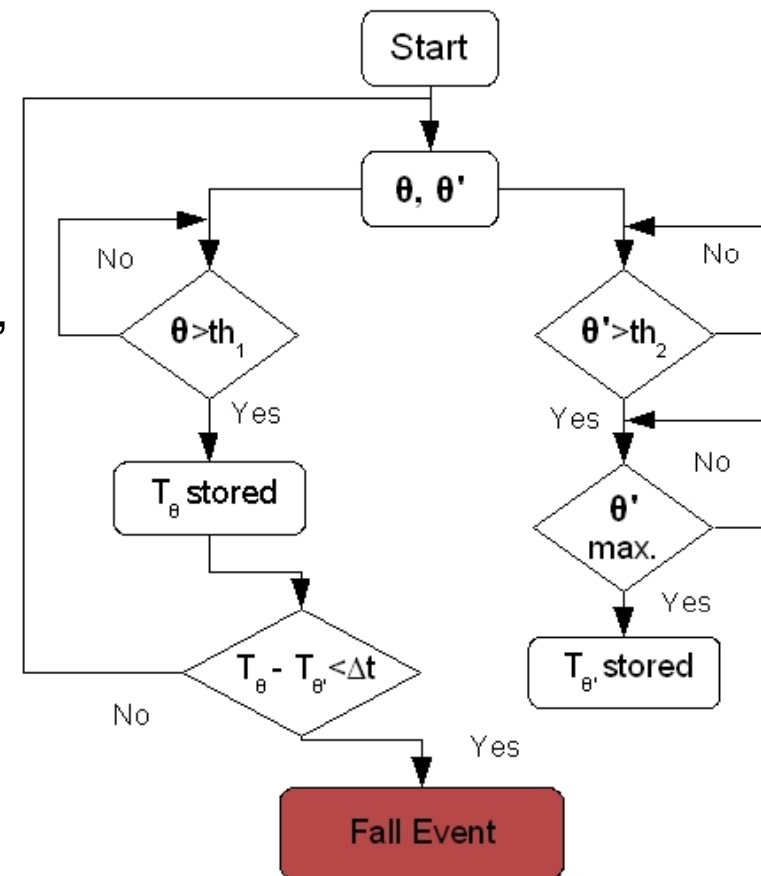


Monitoraggio di Caduta

- Il concetto base è di rilevare inclinazioni critiche del tronco della persona monitorata in corrispondenza di alta velocità rotazionale

Ricostruzione di θ e $d\theta/dt$

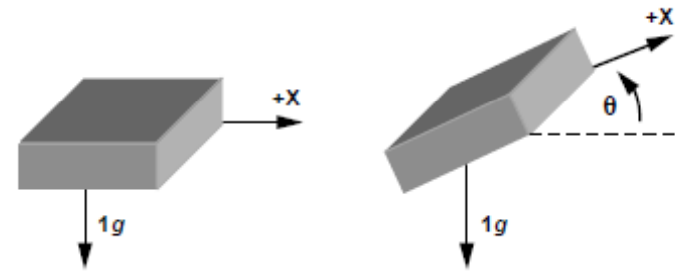
• θ rappresenta l'inclinazione del tronco, stimata attraverso le componenti del segnale accelerometrico



Monitoraggio di Caduta (II)

- L'inclinazione θ è ottenuta attraverso la conoscenza del vettore gravitazionale misurata nel sistema di riferimento dell'accelerometro.

$$\mathbf{y} = \mathbf{a} - \mathbf{g} \quad \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \end{pmatrix}$$



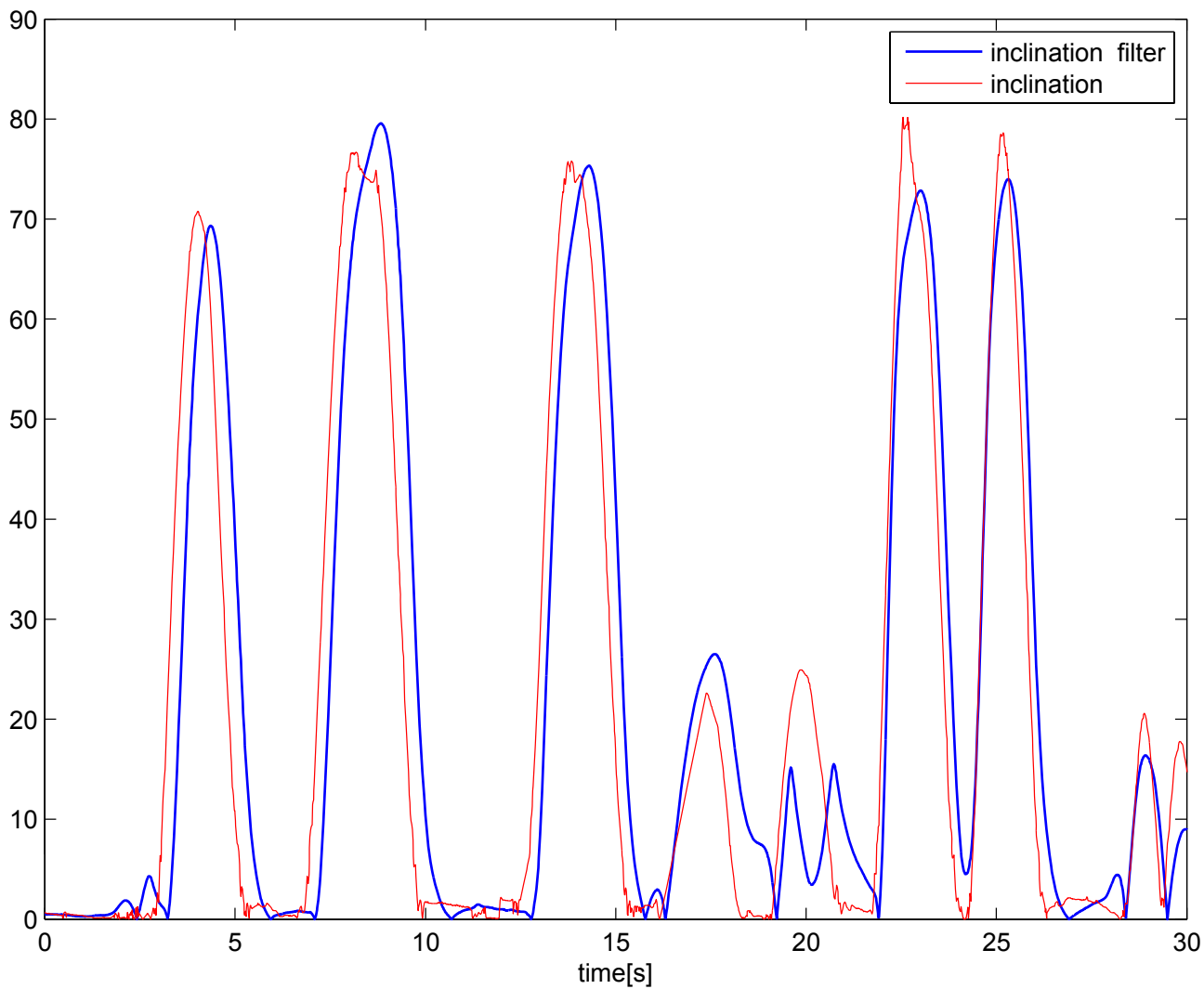
- In condizioni statiche è presente la sola componente gravitazionale
 - θ è semplice da valutare
- In condizioni dinamiche:
 - Accelerazione inerziale è sommata a quella gravitazionale
 - L'errore che si commette è più grande quando il soggetto effettua movimenti intensi (come correre o saltare)
 - θ non è stimabile

Monitoraggio di Caduta (III)

- Lo scopo della tecnica di filtraggio è quella di effettuare una stima in tempo reale della componente g
- Si usa un filtro di Kalman che attraverso la modellizzazione dell'effetto della gravità e dell'accelerazione del sistema sul segnale accelerometrico misurato permette una stima ottima di θ
- A , matrice dello stato di transizione
- Modello di Stato $x_k = Vg(k)$
- Processo di rumore n_k , covarianza Q
- Rumore di Misura $q_k \sim V a(k)$, covarianza R
- Equazioni del modello
 - $x_k = Ax_{k-1} + n_k$
 - $y_k = x_{k-1} + q_k$

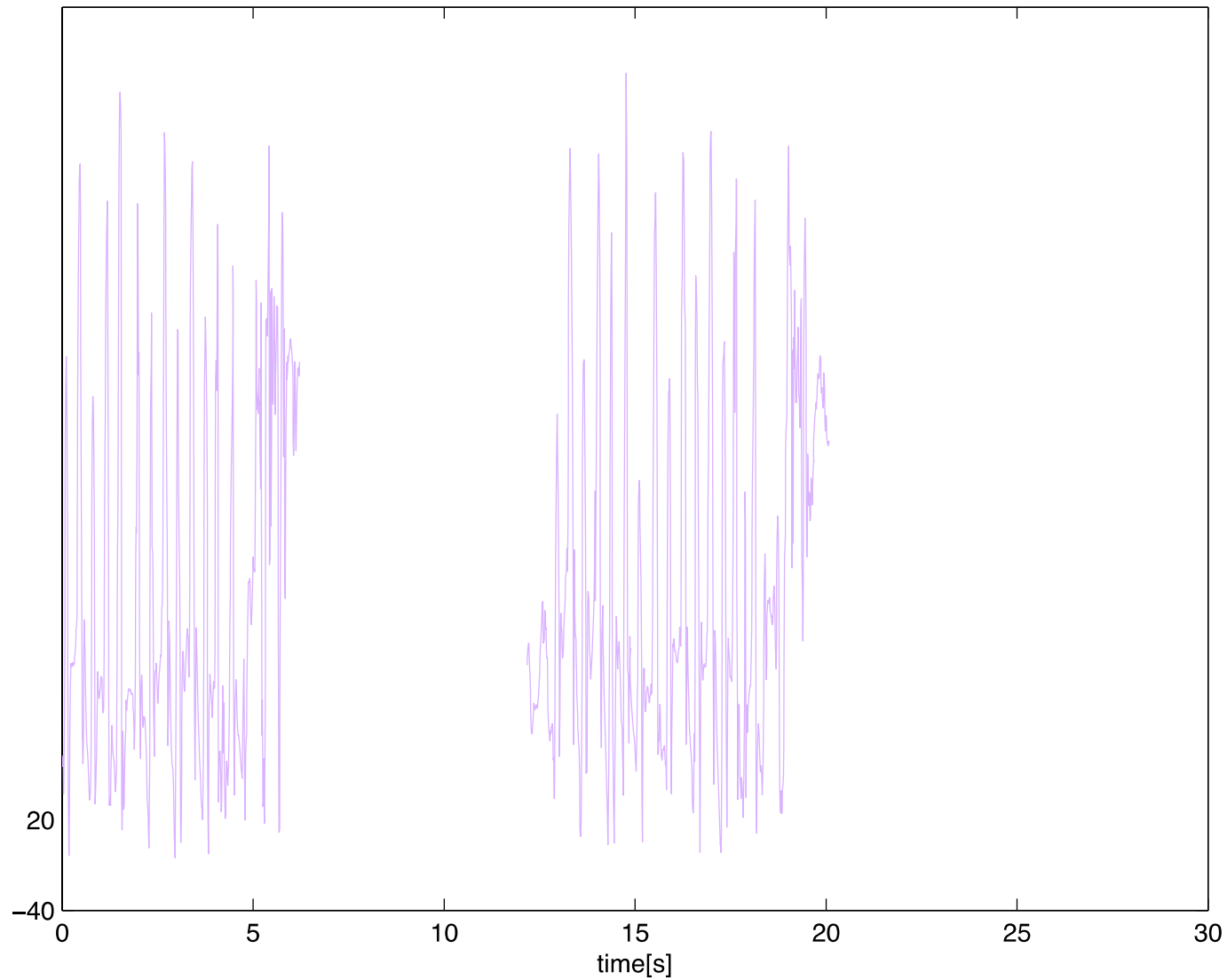
Monitoraggio caduta (IV)

Validazione del sistema accelerometro con sistema a telecamere BTS



Monitoraggio Caduta (V)

Segnali derivati dall'accelerometro e riconoscimento di cadute



Calcolo del segnale SMA

- Un segnale che ci dà una stima della intensità di attività effettuata dall'utente è il “signal magnitude area” (SMA), estratto dai segnali di un accelerometro tri-assiale.
- In condizioni dinamiche l'accelerazione inerziale è sommata a quella gravitazionale
- Per poter stimare l'intensità dell'attività effettuata dall'utente si estrae il segnale SMA dalle componenti dell'accelerometro

$$SMA(k) = \frac{1}{N} \left(\sum_{Nk}^{N(k+1)-1} |a_1| + \sum_{Nk}^{N(k+1)-1} |a_2| + \sum_{Nk}^{N(k+1)-1} |a_3| \right)$$

Calcolo del segnale SMA (II)

- Dobbiamo stimare le diverse componenti di accelerazione dal segnale misurato dell'accelerometro

$$SMA(k) = \frac{1}{N} \left(\sum_{Nk}^{N(k+1)-1} |a_1| + \sum_{Nk}^{N(k+1)-1} |a_2| + \sum_{Nk}^{N(k+1)-1} |a_3| \right)$$

- *3° IIR high-pass digital filter* $y \rightarrow a_1, a_2, a_3$

² *Development of a novel algorithm for human fall detection using wearable sensors.*
Anania & Co. Proceedings of IEEE Sensors

Esempi di Applicazioni

- Test effettuati su soggetti
- Risultati veramente incoraggianti
 - 0.6% del totale di non-walking è classificato erroneamente come walking

<i>a. Classified \ Actual [%]</i>		<i>none</i>	<i>walking</i>	<i>running</i>
<i>1</i>	<i>none</i>	99.4	0.5	0.0
<i>2</i>	<i>walking</i>	0.6	99.5	0.3
<i>3</i>	<i>running</i>	0.0	0.0	99.7

Esempi di Applicazioni

- Classificatore di intensità di movimento
 - Buone performance sono riportate nella matrice di confusione
- La migliore discriminazione si ottiene con le attività “mild” e “intense”

<i>b. Classified \ Actual [%]</i>		<i>none</i>	<i>mild</i>	<i>intense</i>
<i>1</i>	<i>none</i>	95.6	1.2	0.0
<i>2</i>	<i>mild</i>	4.4	98.8	0.3
<i>3</i>	<i>intense</i>	0.0	0.0	99.7

Esempi di Applicazioni

