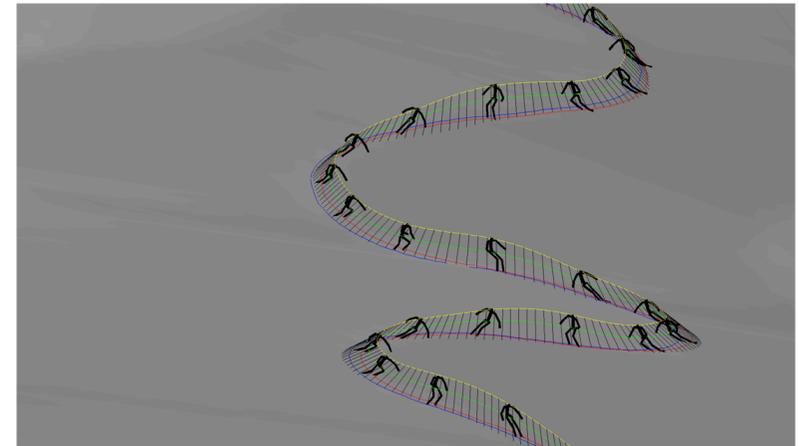
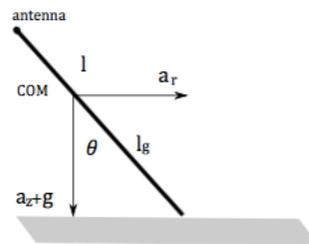
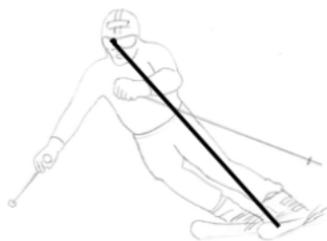


Sistemi di Misura Inerziali



Misurano accelerazioni, lineari e angolari.

Possono integrare magnetometri per la misura dell'inclinazione

Nell'esempio riportato sensori inerziali sono usati per caratterizzare la posizione dei segmenti corporei e integrati con un sistema gps per localizzare lo sciatore

Misura angoli segmenti corporei

© XSENS TECHNOLOGIES - VERSION APRIL 3, 2013

1

Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors

Daniel Roetenberg, Henk Luinge, and Per Slycke

Sistema per misurare gli angoli tra segmenti del corpo

Si potrebbero usare degli elettrogoniometri: sono dispositivi che possono essere fissati a cavallo delle giunture

Problemi:

- Errore nel posizionamento
- Si spostano facilmente dalla posizione iniziale



Fig. 1. Xsens MVN consists of 17 inertial and magnetic sensor modules. Data is transmitted by a wireless connection to the laptop computer on which the processing is performed and visualized. A suit is used for quick and convenient placement of sensors and cables.

Misura angoli segmenti corporei

© XSENS TECHNOLOGIES - VERSION APRIL 3, 2013

1

Xsens MVN: Full 6DOF Human Motion Tracking Using Miniature Inertial Sensors

Daniel Roetenberg, Henk Luinge, and Per Slycke

Utilizzo di accelerometri, giroscopi e magnetometri

L'uso integrato di questi sensori permette di minimizzare il problema degli errori nella stima del movimento degli arti



Fig. 1. Xsens MVN consists of 17 inertial and magnetic sensor modules. Data is transmitted by a wireless connection to the laptop computer on which the processing is performed and visualized. A suit is used for quick and convenient placement of sensors and cables.

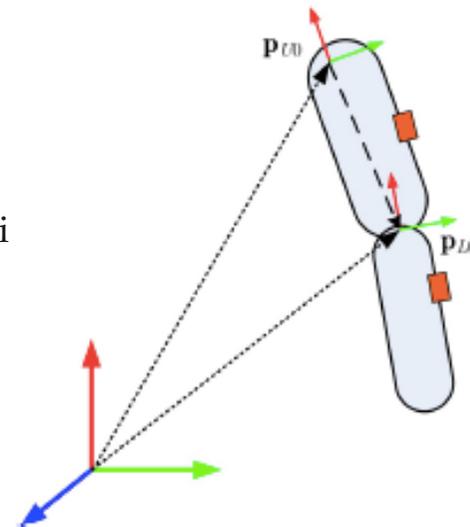
Misura angoli segmenti corporei

Consideriamo due segmenti, con un sensore in ciascuno

Ogni sensore misura le accelerazioni lineari ed angolari

Integrandole si ottengono velocità (lineari ed angolari)

Integrandole ancora si ottengono spostamenti e rotazioni



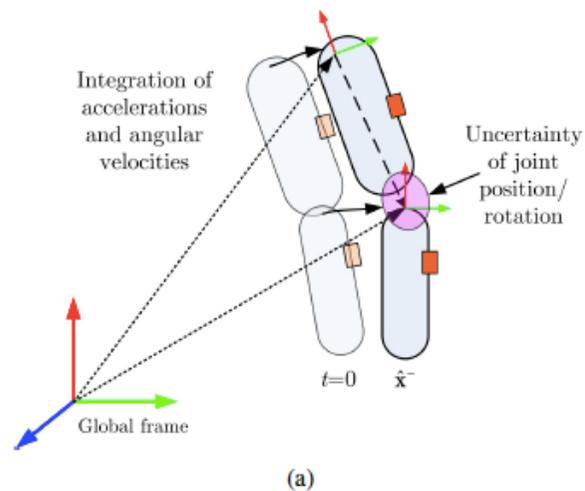
(d) Relation of two connecting segments at $t = 0$.

Misura angoli segmenti corporei

Ma cosa succede se c'è del rumore nei sensori, o un piccolo errore nel posizionamento, o un segnale spurio seppur piccolo?

L'integrazione porta un errore piccolo sulle accelerazioni ad avere un errore finale considerevole

Per questo motivo, in questo sistema vengono utilizzate dei metodi di correzione basati su più misure

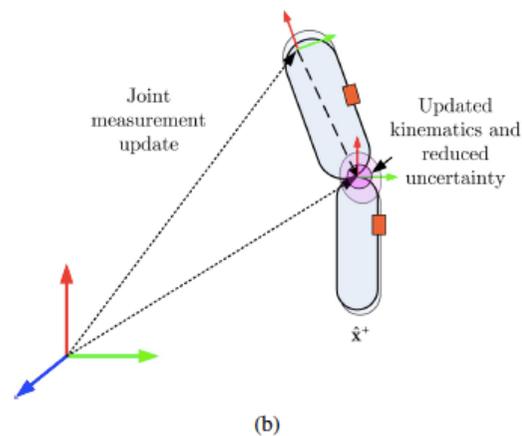


Misura angoli segmenti corporei

In questo caso gli accelerometri servono per mantenere l'informazione sulla verticale del sensore, andando a valutare la componente verticale della accelerazione legata alla gravità

I magnetometri, funzionano come bussole, e individuano la direzione sul piano orizzontale dei sensori, dalla misura del campo magnetico terrestre

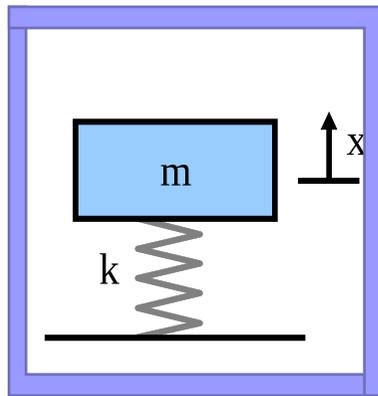
Quindi la posizione ad intervalli dati può essere corretta con queste informazioni aggiuntive



Accelerometri

L'accelerazione si trova come forza prodotta su una massa $F=Ma$
Dove F è la Forza e M la massa (che è nota)

Tale forza sarà misurata dalla deformazione (x) di una molla (k) ad essa collegata dalla deformazione di un materiale piezoelettrico (fornisce un segnale proporzionale alla deformazione)



Una volta stimata l'accelerazione è possibile stimare velocità attraverso una integrazione nel tempo

$$v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t a(t_\alpha) dt_\alpha$$

Bisogna fare notare che nel caso esista un errore nella stima della accelerazione, questo verrà ad essere integrato (quindi sommato) nel tempo

Se nell'intervallo di misura l'errore è costante, ad esempio positivo, la misura della velocità sarà sovrastimata

Una successiva integrazione, che permetterebbe di stimare lo spazio percorso, produrrebbe in questo caso ad una sovrastima della distanza percorsa

Accelerometri

Una volta stimata l'accelerazione è possibile stimare velocità attraverso una integrazione nel tempo

$$v(t) = v(t_0) + \int_{t_0}^t a(t_\alpha) dt_\alpha$$

Bisogna fare notare che nel caso esista un errore nella stima della accelerazione, questo verrà ad essere integrato (quindi sommato) nel tempo

Se nell'intervallo di misura l'errore è costante, ad esempio positivo, la misura della velocità sarà sovrastimata. Se nell'intervallo di tempo di integrazione l'errore oscilla attorno al valore corretto dell'accelerazione, allora l'errore sarà più piccolo.

Accelerometri

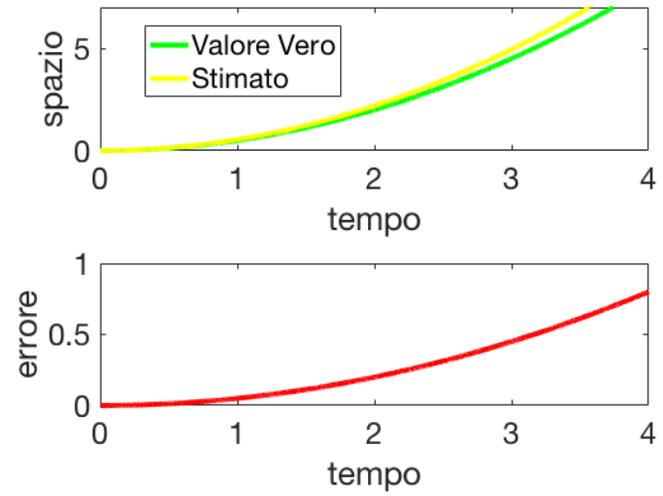
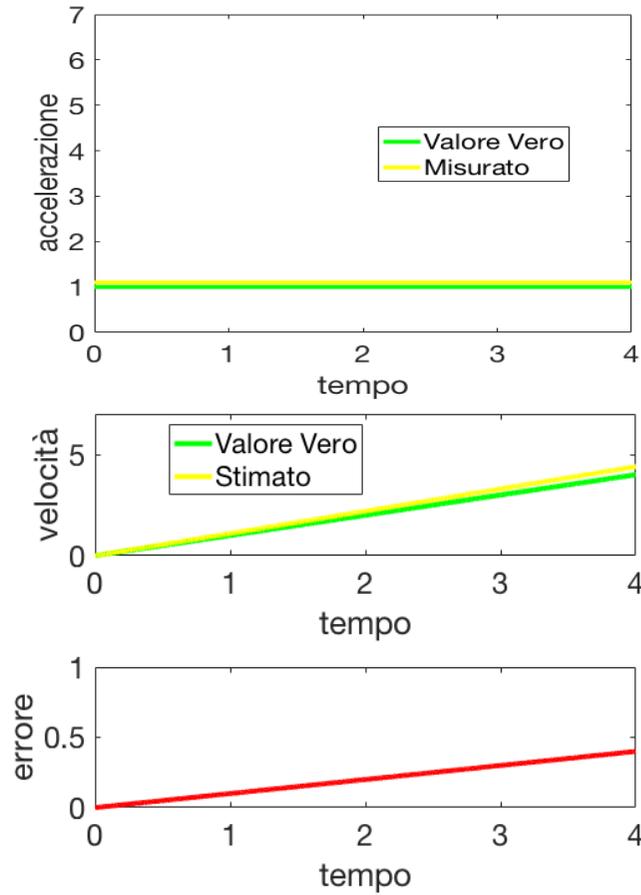
Quindi nel caso di errori costanti o variabili lentamente (drift) una successiva integrazione, che permetterebbe di stimare lo spazio percorso, produrrebbe in questo caso ad una sovrastima della distanza percorsa

Nel caso di errore costante (bias) sulla accelerazione si avrebbe un errore sulla velocità che cresce linearmente con il tempo di integrazione

Nella stima dello spazio percorso si creerebbe, in questo caso un errore nella stima della velocità di tipo quadratico in funzione del tempo.

Questo esempio mostra perché l'accelerometro può accumulare un errore sulla stima sia della velocità e ancor di più dello spazio percorso

Accelerometri



Accelerometri

Tali dispositivi possono essere resi sono molto piccoli
(MEMS micro-electro-mechanical systems)

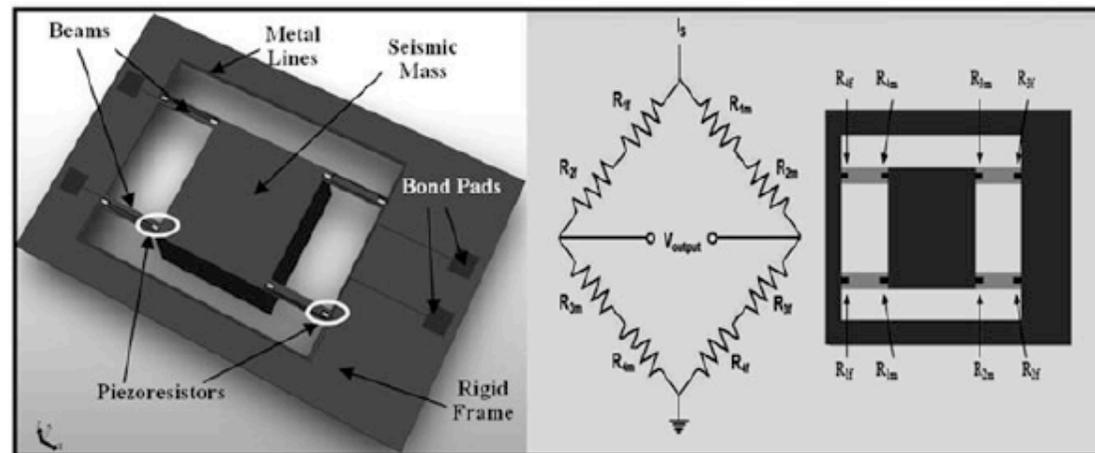


Fig. 4 (left) MEMS piezoresistive accelerometer variant discussed in this test. (right) Wheatstone bridge arrangement of stress sensing piezoresistors and their mapping on the MEMS accelerometer

Giroscopi

Sono costituiti da una massa in rotazione

Servono per misurare la velocità angolare e quindi, dopo una integrazione nel tempo, gli angoli

Il principio sul quale si basano è legato al fatto che tendono a mantenere la stessa direzione del piano di rotazione della massa, seppur si cerchi di modificarla:

Se cerchiamo di modificarla si opporrà con una forza



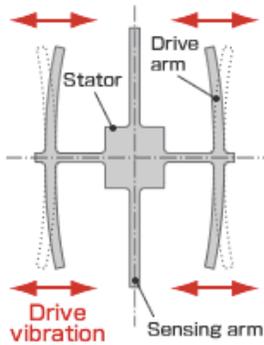
Giroscopi

É possibile creare dei sistemi che vibrano, molto piccoli, (MEMS) sfruttando il fatto che il piano di vibrazione rimane lo stesso

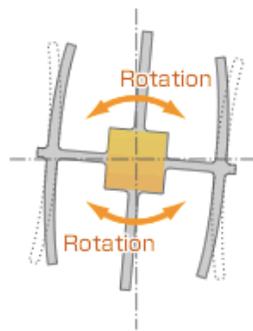
Se viene modificato, verrà generata una forza che tenderà ad opporsi. Misurando tale forza si misura la variazione. In particolare, i giroscopi forniscono la velocità di variazione della velocità angolare

Si fa notare che piccoli errori su questa, possono portare dopo due integrazioni, ad errori considerevoli sugli angoli finali

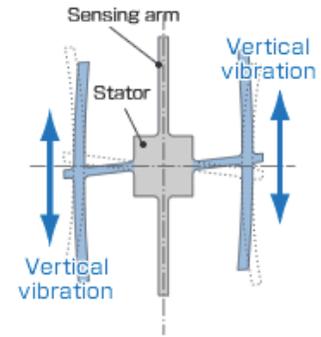
Giroscopi



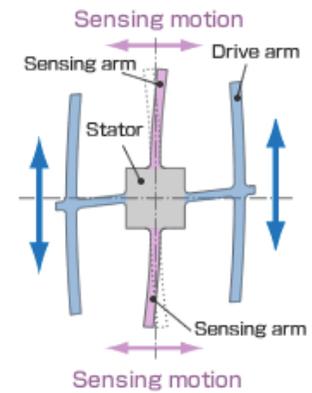
1. Normally, a drive arm vibrates in a certain direction.



2. Direction of rotation



3. When the gyro is rotated, the Coriolis force acts on the drive arms, producing vertical vibration.



https://www5.epsondevice.com/en/information/technical_info/gyro/

Magnetometri

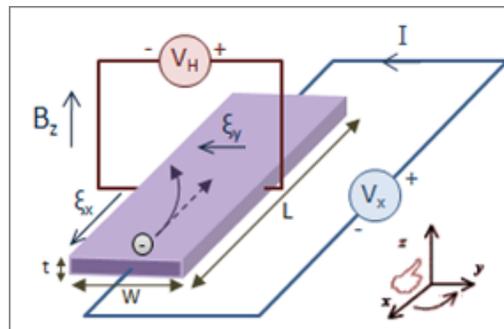
Misurano il campo magnetico

Alcuni misurano il campo magnetico terrestre (come la bussola che ne misura la direzione e verso)

Altri i campi magnetici generati dalle correnti cerebrali (SQUIDS)

L'entità del campo magnetico si misura attraverso l'effetto Hall

Una carica in movimento, soggetta ad un campo, è sottoposta ad una Forza



Magnetometri

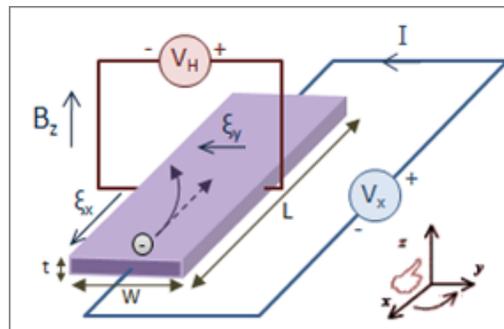
L'entità del campo magnetico si misura attraverso l'effetto Hall

Una carica in movimento, soggetta ad un campo, è sottoposta ad una forza

Le cariche in un conduttore possono essere messe in movimento

Muovendosi, se sono in presenza di un campo magnetico, si sposteranno in una direzione perpendicolare sia al movimento che al campo (Forza di Lorentz)

Da una parte del conduttore si accumuleranno delle cariche, in ragione legata al campo magnetico e alla corrente, e quindi si genera una differenza di potenziale

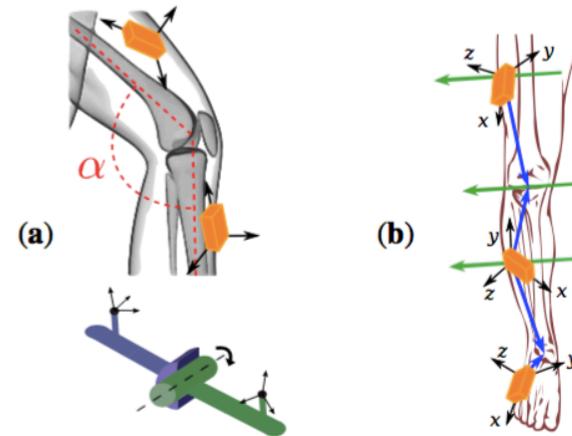


Tramite questi sistemi è possibile misurare la direzione del campo magnetico terrestre

IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis

Thomas Seel ^{1,*}, Jörg Raisch ^{1,2} and Thomas Schauer ¹

La localizzazione degli IMU spesso non segue una direzione significativa dal punto di vista anatomico-funzionale

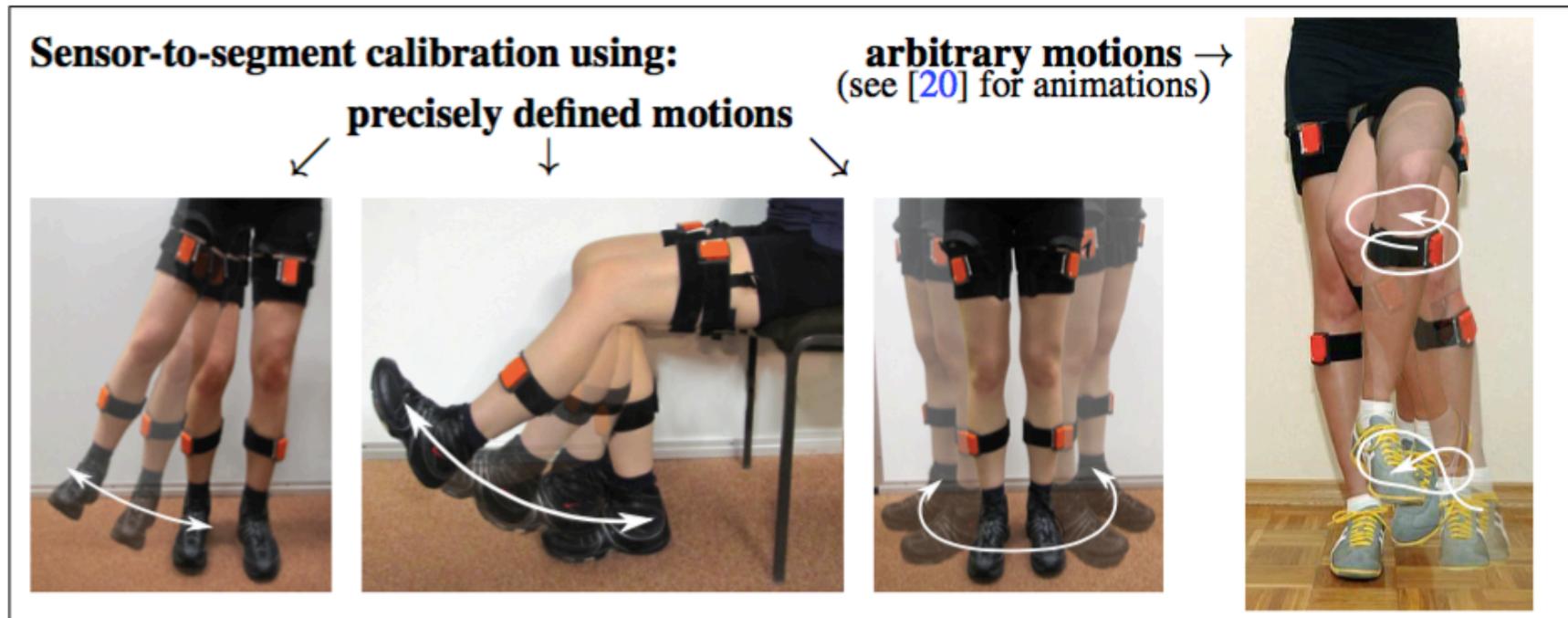


IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis

Thomas Seel ^{1,*}, Jörg Raisch ^{1,2} and Thomas Schauer ¹

È possibile usare una calibrazione quindi riferendo le misure ad una precisa posizione di riferimento

O usare dei modelli cinematici che quindi inseriscono dei vincoli sulla posizione dei segmenti corporei e sulle rispettive posizioni: in questo caso la calibrazione può essere fatta con movimenti liberi (figura a destra)

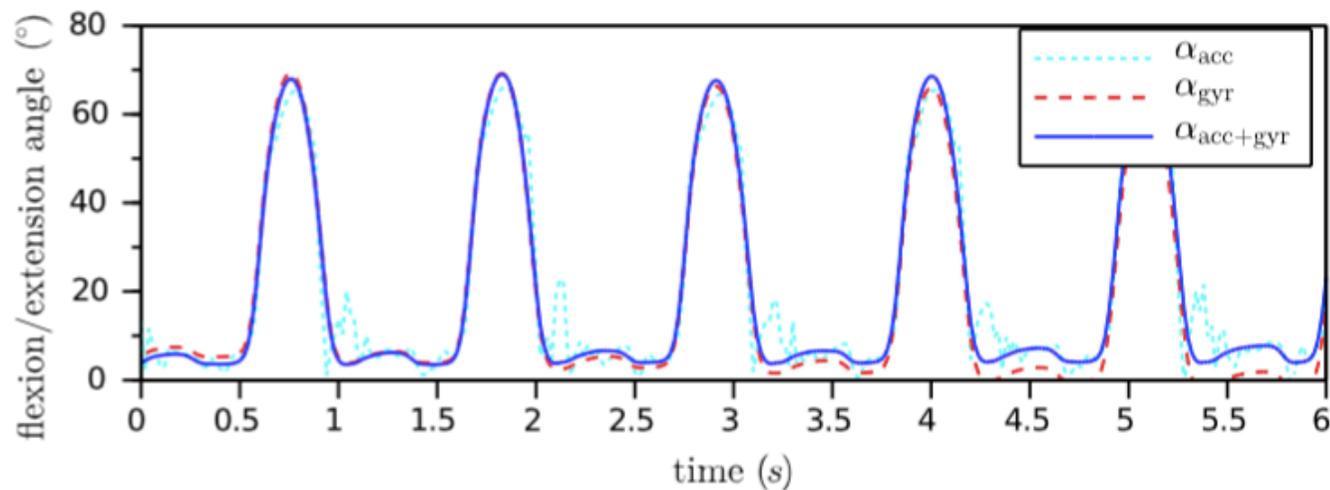


IMU-Based Joint Angle Measurement for Gait Analysis

Thomas Seel ^{1,*}, Jörg Raisch ^{1,2} and Thomas Schauer ¹

Gli approcci attuali fanno uso sia dei giroscopi che degli accelerometri e spesso utilizzano approcci avanzati (ad. Es. filtri di Kalman)

Nella figura si mostrano i risultati della fusione delle informazioni dei giroscopi e degli accelerometri, per ottenere un risultato meno affetto da errori (si evita l'uso dei magnetometri che potrebbero essere soggetti ad interferenze ambientali)



Quindi solitamente i modelli presenti in letteratura usano

- Algoritmi che utilizzano contemporaneamente le misure di tutti i sensori
- Correzione delle misure incrociando i valori dei sensori (ad esempio i magnetometri possono essere usati per correggere eventuali errori accumulati nella integrazione dell'informazione degli accelerometri)
- Modelli cinematici che tengono conto dei vincoli tra i possibili movimenti/configurazioni dei segmenti corporei

Evaluation of Validity and Reliability of Inertial Measurement Unit-Based Gait Analysis Systems

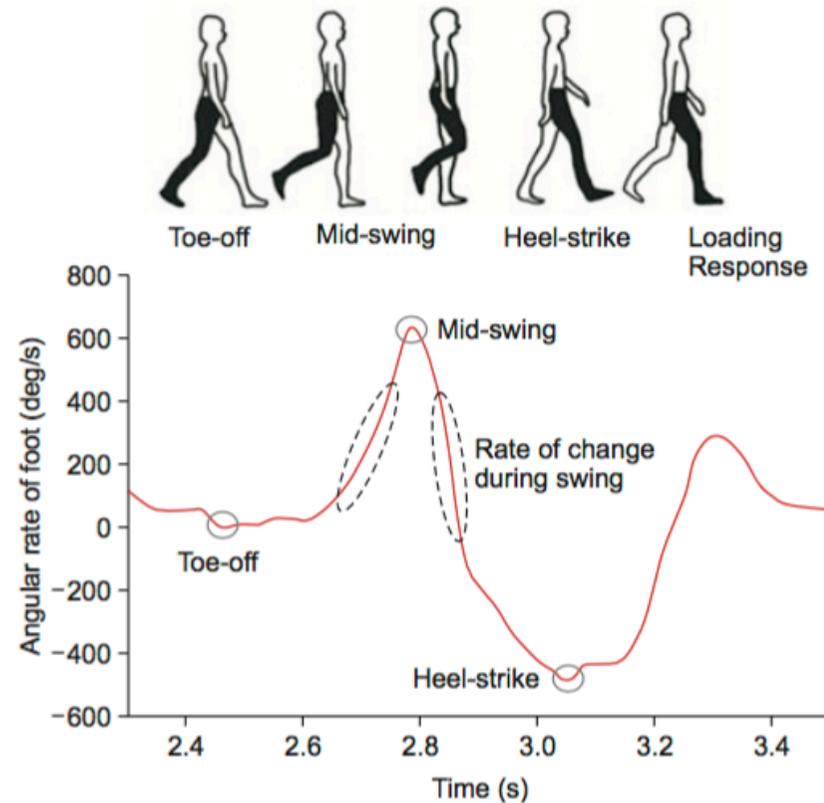
Young-Shin Cho, MD¹, Seong-Ho Jang, MD, PhD¹, Jae-Sung Cho, PhD², Mi-Jung Kim, MD, PhD¹,
Hyeok Dong Lee, MD¹, Sung Young Lee, MD¹, Sang-Bok Moon, PhD¹

¹Department of Rehabilitation Medicine, Hanyang University College of Medicine, Seoul; ²Department of Arts & Technology, School of Industrial Information Studies, Hanyang University, Seoul, Korea

Bisogna però tenere presente che alcuni parametri del cammino possono essere stimati senza bisogno di modelli complessi.

Questi risultati sono stati ottenuti con un giroscopio applicato al piede

È possibile ad esempio calcolare la durata del passo



Estimation of spatial-temporal gait parameters in level walking based on a single accelerometer: Validation on normal subjects by standard gait analysis

F. Bugané^{a,b}, M.G. Benedetti^a, G. Casadio^b, S. Attala^a, F. Biagi^a, M. Manca^c,
A. Leardini^{a,*}

Nel lavoro sopra citato si riescono a calcolare diversi parametri del cammino solo con un accelerometro posto sul tronco del soggetto

- Step length [m], the distance between the ipsilateral and contralateral heel strikes;
- Stride length [m], the distance between two consecutive heel strikes of the same foot;
- Stride length/height [%], the stride length normalized by subject height;
- Stride duration [s], the time between two consecutive heel strikes of the same foot;
- Step duration [s], the time between ipsilateral and contralateral heel strikes;
- Foot symmetry [%], the step duration as percentage of gait cycle;
- Stance duration [%], the foot support phase, i.e. from heel strike to toe off of the same foot, duration as percentage of gait cycle;
- - Swing duration [%], the foot swing phase, i.e. from toe-off to heel strike of the same foot, duration as percentage of gait cycle;
- - Double support duration [%], the duration of the phase of support on both feet as percentage of gait cycle;
- - Single support duration [%], the duration of the phase of support on one foot as percentage of gait cycle;
- - Speed [cm/s], the average instantaneous speed within the gait cycle as integration of acceleration;
- - Cadence [strides/min], the number of strides in a minute;
- - Normalized speed [%], the speed as percentage of the subject's height.

Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking

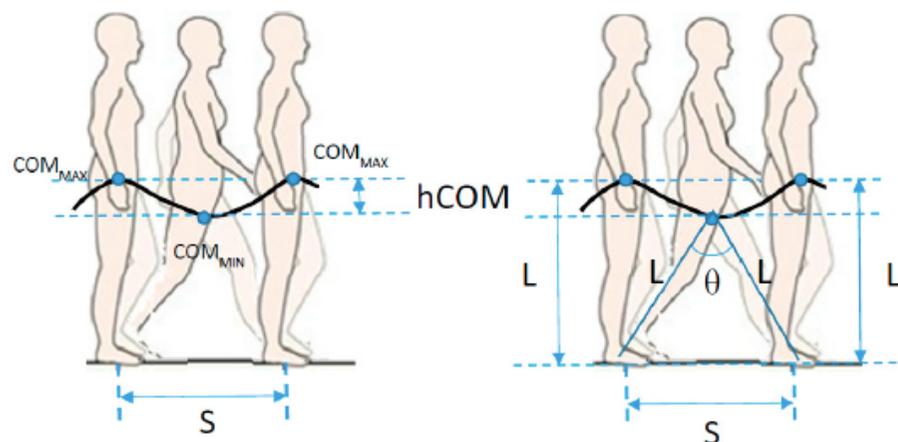
Wiebren Zijlstra *, At L. Hof

Usano il modello del pendolo inverso per stimare la lunghezza del passo con la variazione dell'altezza del centro di massa (center of mass, COM)

l lunghezza della gamba

h variazione dell'altezza del centro di massa

$$\text{Lunghezza passo} = 2\sqrt{2lh - h^2}$$



Questo modello è stato validato nei soggetti sani
Nell'articolo sotto (dal quale è estratta l'immagine a sinistra)
Si propone una verifica per uso nella riabilitazione

Article

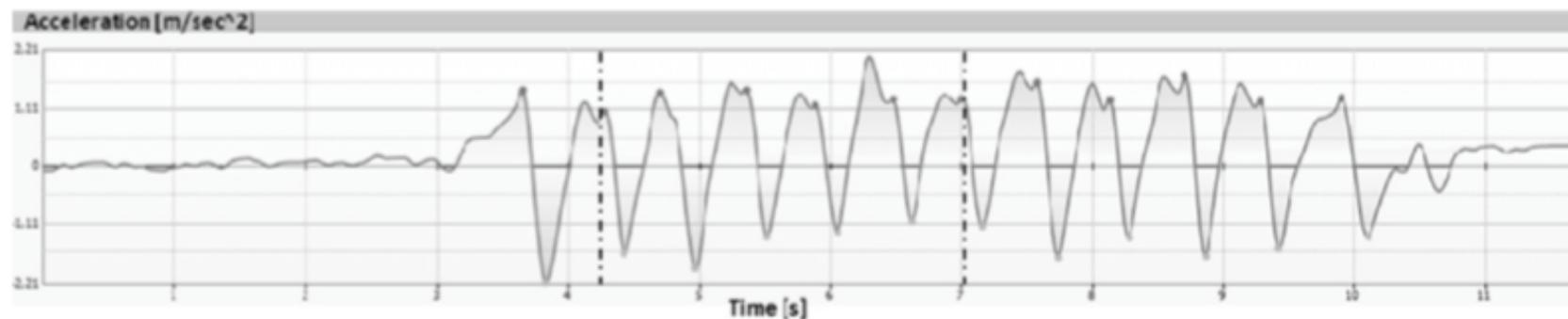
Validation of a Wearable IMU System for Gait Analysis: Protocol and Application to a New System

Marcello Fusca ^{1,*}, Francesco Negrini ², Paolo Perego ¹, Luciana Magoni ³,
Franco Molteni ³ and Giuseppe Andreoni ^{1,4}

Estimation of spatial-temporal gait parameters in level walking based on a single accelerometer: Validation on normal subjects by standard gait analysis

F. Bugané^{a,b}, M.G. Benedetti^a, G. Casadio^b, S. Attala^a, F. Biagi^a, M. Manca^c,
A. Leardini^{a,*}

È interessante come gli autori si basino solo sulla componente verticale dell'accelerazione del sensore posto sulla parte bassa del tronco (tra L4 e L5, quindi vicino al centro di massa)



Per ogni ciclo sono presenti due picchi positivi (il secondo è legato all'appoggio del piede)

La velocità e lo spostamento verticali sono ottenute integrando rispettivamente una e due volte le accelerazioni: per evitare accumuli di possibili errori, nel processo di integrazione, gli integrali sono ripetuti ad ogni ciclo

Il passaggio da piede destro a sinistro è ottenuto dall'analisi delle accelerazioni laterali

Evaluating physical function and activity in the elderly patient using wearable motion sensors

Bernd Grimm and Stijn Bolink

é interessante come in letteratura esista un’ampia documentazione sulle diverse possibili applicazioni. Nell’articolo sopra citato ad esempio si va a vedere quali parametri e quali sensori possono essere usati per il monitoraggio nell’anziano

Table 1. Overview of available methods to assess physical function of the lower extremity with wearable motion sensors

Functional tests	Sensor type	Sensor location	Motion parameters	Clinical application	References
Gait	Pressure sensor Force sensitive insoles Ultrasonography Accelerometer	Shoe	Ground reaction force	Healthy persons	43
		Foot	Gait events	Post-stroke	44,45
		Heel	Gait phases	Healthy persons	46
	Inertial sensor	Sacrum	Spatiotemporal	Osteoarthritis	18
			Gait events	Healthy persons	47
		Ear	Gait events	Osteoarthritis	48,49
		Sacrum	Spatiotemporal	Osteoarthritis	29,50,51
			Stride variability	Frailty	
			Pelvic range of motion		
		Trunk: sacrum–C7	Spatiotemporal	Osteoarthritis	52
	Trunk range of motion Pelvic range of motion				
	Thigh and tibia		Gait events	Healthy persons	29,53
			Spatiotemporal	Osteoarthritis	
			Knee range of motion	Knee brace	
Knee angular velocity			Ankle brace		
Hip range of motion					
Shoe		Spatiotemporal	Hemiparetic patients	54,55	
		Angular velocity	Real time feedback		
Lower back, thigh, shank, foot		Hip range of motion	Healthy persons	56,57	
		Knee range of motion			
		Ankle range of motion			
		Muscle activity	Healthy persons	21,22	
		Power spectrum	Hemiplegia		
Electromyography	Thigh and shank	Gait phases			

Evaluating physical function and activity in the elderly patient using wearable motion sensors

Bernd Grimm and Stijn Bolink

é interessante come in letteratura esista un’ampia documentazione sulle diverse possibili applicazioni. Nell’articolo sopra citato ad esempio si va a vedere quali parametri e quali sensori possono essere usati per il monitoraggio nell’anziano

Table 1. Overview of available methods to assess physical function of the lower extremity with wearable motion sensors

Functional tests	Sensor type	Sensor location	Motion parameters	Clinical application	References
Running	Inertial sensor	Sacrum, thigh and tibia	Knee flexion	Osteoarthritis	29
Sit-to-stand	Inertial sensor	Sternum, lower back, thigh and tibia	Knee angular velocity	Frailty	28
	Inertial sensor	Trunk: S1-L4	Angular velocity Acceleration Phase detection Trunk range of motion Vertical Acceleration	Fall detection Frailty Osteoarthritis Parkinson	6,58,59
Sit-to-walk	Flexible goniometer Accelerometer Foot pressure sensor	Sewn into trouser: waist, thigh, knee Trunk: L3-L4.	Temporal event detection Acceleration Foot pressure Trunk range of motion	Osteoarthritis Healthy persons	27 60
	Inertial sensor	Sacrum, thigh and tibia	Knee flexion Knee angular velocity	Osteoarthritis	29
Timed up-and-go	Smartphone	Sternum	Trunk acceleration	Frailty	61
	Inertial sensor	Sternum, lower back, thigh and tibia	Angular velocity trunk Spatiotemporal gait	Frailty Fall detection	28
	Inertial sensor	Sternum, shank, wrist	Angular velocity trunk Spatiotemporal gait	Parkinson	62
	Inertial sensor	Trunk: L2	Acceleration Angular velocity	Fall detection	63
Stair climbing	Inertial sensor	Sacrum, thigh, tibia	Knee flexion	Knee osteoarthritis	1,29
			Knee angular velocity	Frailty	
			Acceleration Jerk Peak power Velocity	Frailty	30

E che dire degli smartwatch?

Quali sensori possiedono?

Sono affidabili?

È possibile accedere ai dati grezzi (raw data)?

Article

Collection and Processing of Data from Wrist Wearable Devices in Heterogeneous and Multiple-User Scenarios

Francisco de Arriba-Pérez ^{*,†}, Manuel Caeiro-Rodríguez [†] and Juan M. Santos-Gago [†]

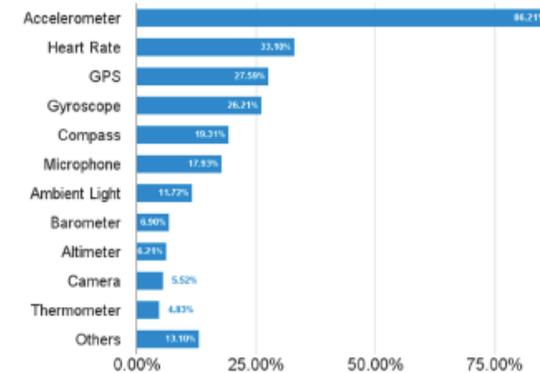
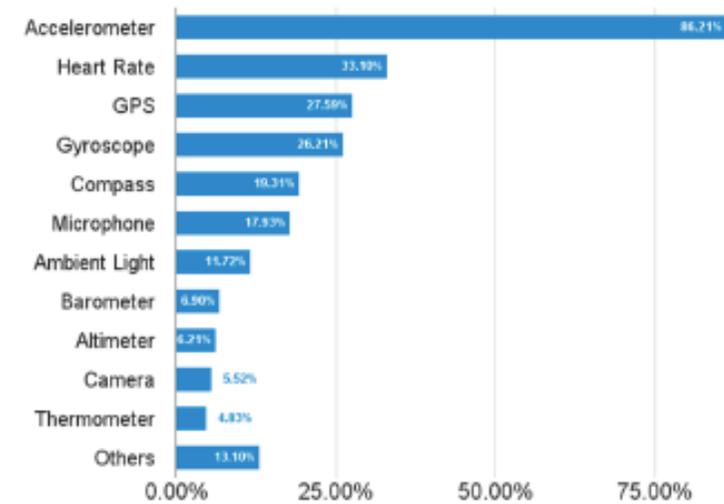


Figure 3. Sensors available in wearables.

Vedremo in seguito che molti smartwatch hanno un numero elevato di sensori

Alcuni di questi smartwatch permettono di recuperare i dati grezzi

Percentualmente, gli accelerometri sono i più diffusi tra i modelli di smartwatch



Alcuni di questi smartwatch permettono di recuperare i dati

Figure 3. Sensors available in wearables.

Alcuni di questi smartwatch permettono di recuperare i dati grezzi

In modo differente. Approfondiremo meglio in seguito...

