

6 ActiMotion®

6.1 Stato dell'arte

L'ActiMotion® è un dispositivo che consente di misurare le accelerazioni attraverso l'uso di un accelerometro bi-assiale e di immagazzinare i dati acquisiti in memorie non volatili. In particolare questo strumento misura le componenti delle accelerazioni verticali e medio-laterali, ovvero le accelerazioni che permettono di discriminare la fase ortostatica da quella clinostatica e, nel secondo caso, di stabilire il fianco su cui è sdraiato il paziente: escludere la componente antero-posteriore è stata in realtà una scelta obbligata.

L'acquisizione dei dati avviene ad una frequenza di 12 Hz e la memoria a bordo consente di acquisire fino a 24 ore di attività, dopo le quali è necessario scaricare i dati su un computer, attraverso una porta seriale e l'uso di un software dedicato.

La scelta di tale frequenza non è casuale, ma è stata dettata dall'osservazione che la maggior parte dei movimenti delle comuni attività della vita quotidiana vanno da 0.3 a 0,5 Hz (Sun and Hill 1993); ricordando il teorema di Nyquist:

$$f_c \geq f_{\max}$$

campionando a 12 Hz abbiamo la certezza di ricostruire in maniera pressoché perfetta quella banda di frequenze e di avere una buona informazione su quelle ad alta frequenza, nel caso si volesse utilizzare l'actigrafo per lo studio dei tremori distali nel morbo di Parkinson (frequenza attorno a 3 Hz). Le frequenze attorno allo zero non vengono filtrate (come nella maggior parte degli esperimenti documentati in letteratura) in quanto la componente continua, che in frequenza è rappresentata da un impulso nell'origine, ai nostri fini è estremamente importante.

La risoluzione dello strumento è pari a 1 mG, ciò significa che è in grado di discriminare variazioni di accelerazione pari a 1 millesimo dell'accelerazione di gravità.

L'accelerometro viene posizionato sul torace dei pazienti all'altezza dello sterno, in tal modo i due assi accelerometrici coincidono con l'asse orizzontale e verticale ed è quindi possibile registrare informazioni relative alle accelerazioni che si sviluppano su detti piani.

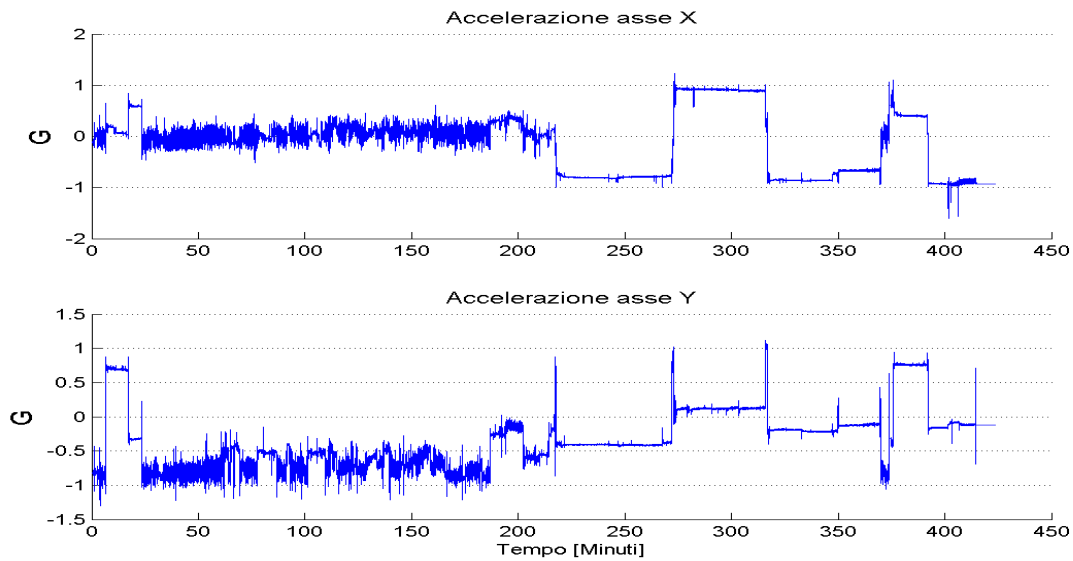


Figura 1: esempio di attività giornaliera (7 ore) rilevata con ActiMotion

6.1.1 Clinostatismo e ortostatismo

Come già detto lo strumento è accoppiato in continua: questo ci permette di distinguere fra le posizioni in cui il tronco è orizzontale o **clinostatismo** (caratterizzato da accelerazione verticale pari a 0), e quelle in cui è verticale o **ortostatismo** (accelerazione verticale pari a -1 g). Nel caso clinostatico il valore della componente medio-laterale permette di stabilire da che lato è girato il soggetto:

Lato	Acc. asse x (in g)
Sinistro	1
Destro	-1
Supino	0

Questo viene evidenziato in maniera molto efficace se si proietta una mappa accelerometrica in cui vengono riportate sulle x le accelerazioni medio-laterali e sulle y quelle verticali:

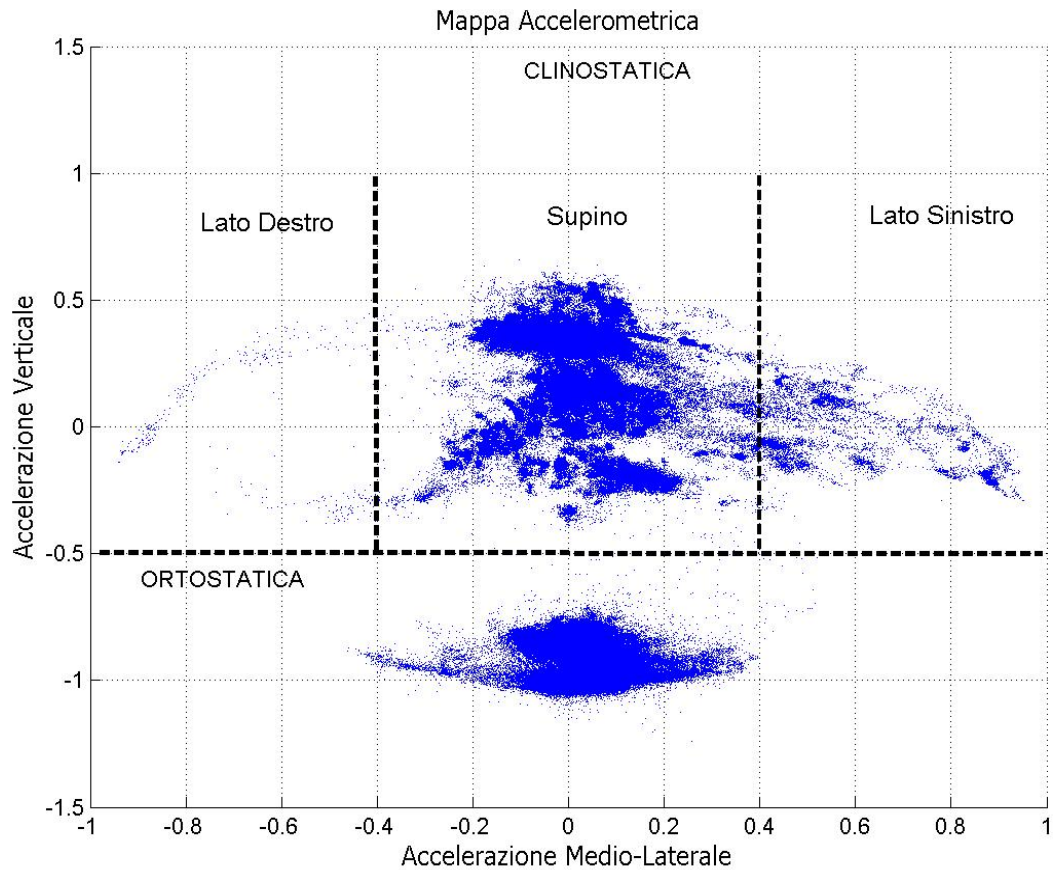


Figura 2: Mappa accelerometrica

In questo esempio si vede molto chiaramente che il soggetto da sdraiato ha prediletto il fianco sinistro rispetto a quello destro¹. Questa può sembrare un'informazione poco importante, in realtà in letteratura sono presenti studi che asseriscono che gli individui anziani sottoposti ad intervento chirurgico e successivamente posti in riabilitazione (per esempio a seguito della rottura del femore), se mostrano un'buona attività notturna ottengono i migliori risultati di recupero, mentre i pazienti più statici tendono a degenerare.

¹ Si tratta di un'analisi *qualitativa*: le soglie tracciate sono determinate attraverso un'approccio di tipo statistico e variano da individuo a individuo. Ad ogni modo l'assenza di postura clinostatica sui fianchi indica un'immobilità notturna totale.

6.1.2 Uso dell'ActiMotion® in riabilitazione motoria

In riabilitazione risulta importante stabilire quanto tempo un individuo trascorra in posizione ortostatica passiva (seduto sulla sedia) e quanto in posizione ortostatica attiva (camminata). La distinzione è effettuata su base statistica, individuando come ortostatismo passivo quell'attività in cui l'accelerazione verticale è -1 g e il CEM è paragonabile a quello dell'attività clinostatica.

In pazienti anziani in fase di riabilitazione a seguito della frattura del femore, vengono effettuate 3 acquisizioni da 24 ore: una al momento dell'ingresso in reparto, una poco prima delle dimissioni e un'altra intermedia per valutare l'efficacia della terapia riabilitativa.

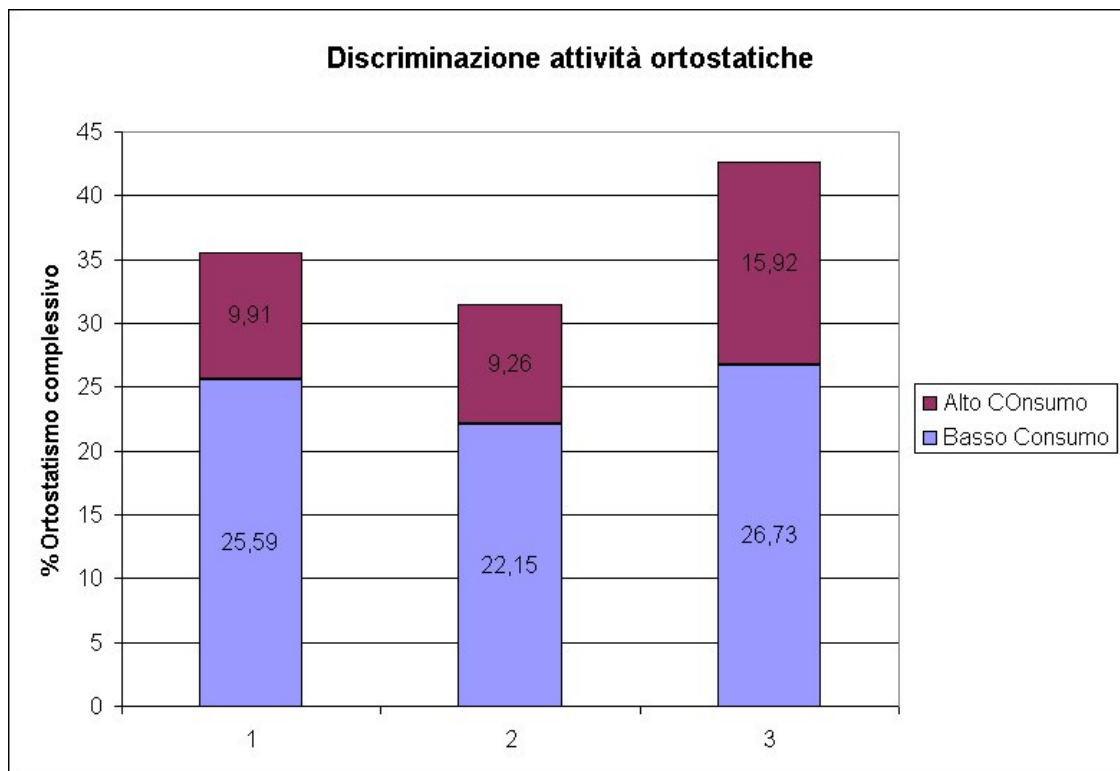


Figura 3: soggetto in fase riabilitativa a seguito della frattura del femore

Da questo grafico emerge una percentuale tutt'altro che trascurabile di ortostatismo passivo. Inoltre possiamo osservare come il soggetto tra la prima e l'ultima acquisizione abbia incrementato la percentuale di ortostatismo complessivo aumentando l'attività ad alto contenuto e lasciando invariata la parte a basso consumo. Questo significa che tutta l'attività in ortostatismo in più che è stata aggiunta, è stata per camminare, confermando il recupero funzionale in corso.

6.1.3 Calcolo del Consumo Energetico Metabolico (CEM)

Il calcolo del CEM viene effettuato filtrando il segnale accelerometrico con un passa banda con frequenza di taglio:

- **inferiore** = 0,1 Hz: in questo modo eliminiamo la componente continua che non fornisce informazioni sul lavoro effettuato dal soggetto;
- **superiore** = 1Hz: in questo modo eliminiamo le componenti dovute alle vibrazioni che si generano per esempio a causa dell'impatto del piede con il suolo o a causa dell'utilizzo di macchinari quali elettrodomestici, veicoli, etc..

Definiamo l'accelerazione così ottenuta come l'**accelerazione dinamica**. L'energia istantanea si ottiene sommando le componenti delle accelerazioni dinamiche nel modo seguente²:

$$E(t) = \sqrt{a_x^2(t) + a_y^2(t)}$$

Infine il CEM, in ogni punto, viene ottenuto integrando il segnale così ottenuto:

$$CEM = \int_0^t E(t)dt$$

Le parti orizzontali, o a bassa pendenza, indicano periodi in cui il CEM è stato particolarmente basso:

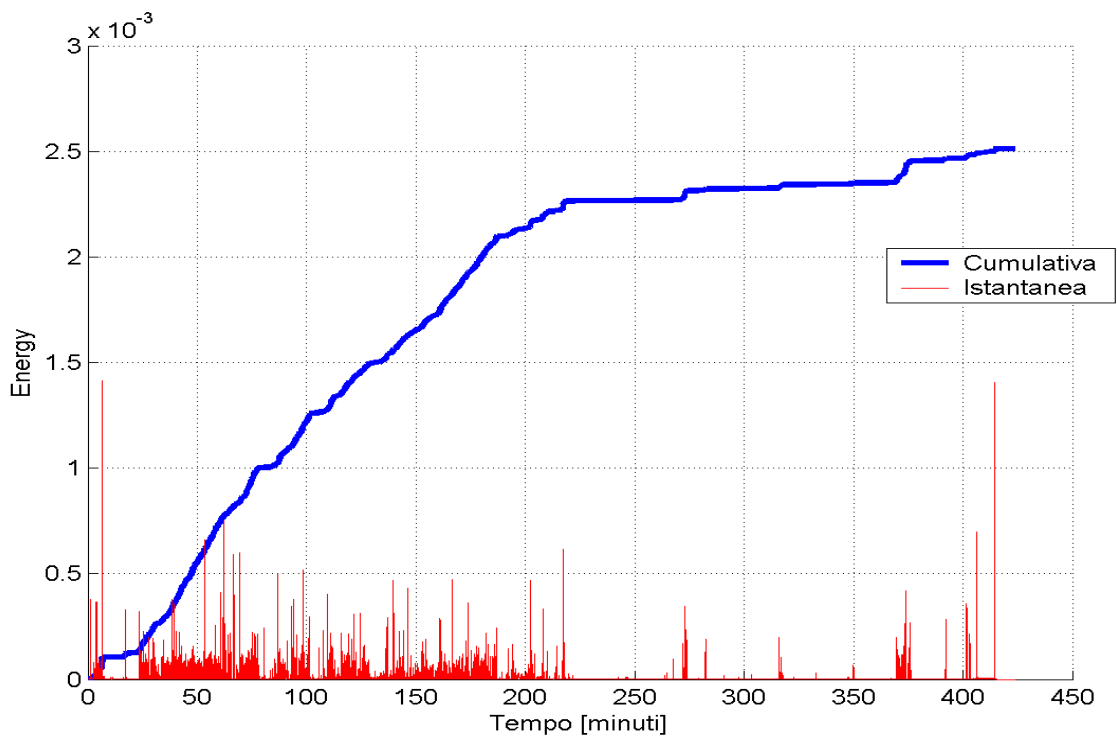


Figura 4: in rosso la somma delle componenti dinamiche delle accelerazioni; in blu l'indice del CEM.

² Si noti che non si tratta di una vera e propria energia, ma della magnitudo dell'accelerazione risultante che correla strettamente con essa.

Normalizzando su T_{\max} è possibile effettuare il computo energetico istantaneo, importante per poter confrontare acquisizioni di diversa durata:

$$CP(t) = \frac{1}{T_{\max}} \int_0^t E(t) dt$$

Non si è ancora trovato l'algoritmo che legghi il CEM alle calorie consumate; allo stato attuale è possibile utilizzarlo solo come termine di paragone tra due soggetti, o tra lo stesso soggetto in tempi diversi.

In quest'ultimo caso si rivela essere un indicatore fondamentale, in quanto monitorando la quantità di energia spesa da un individuo ogni giorno è possibile, per esempio, verificare se una terapia di riabilitazione si sta rivelando efficace o se è il caso di sostituirla con un'altra.

6.2 Limiti dell'ActiMotion®

1. Gli accelerometri sono ugualmente sensibili a qualunque forma di accelerazione quindi, durante una rototraslazione, essi misurano contemporaneamente le componenti lungo i propri assi delle accelerazioni:
 - traslazionali
 - tangenziali
 - dovute alla forza centripeta
 - dovute alla forza di gravitàQualora si cerchi un indice di prestazione (ad esempio: accelerazione massima del movimento) o si voglia ricostruire la traiettoria di un movimento, è necessario separare l'una dall'altra queste componenti e questa scomposizione, in generale, non è semplice a meno di vincolare il movimento.
2. Allo stato attuale risulta impossibile differenziare la postura seduta da quella eretta se non per deduzione individuando una postura a tronco verticale a basso consumo energetico (presumibilmente seduta) da una ad alto consumo energetico (presumibilmente eretta con deambulazione). In ogni caso non è possibile distinguere la postura eretta statica da quella seduta.
3. Gli spostamenti in carrozzina potrebbero essere sottostimati in quanto a consumo energetico.
4. Non sono al momento stati individuati pattern precisi che consentano di caratterizzare le modalità con cui avviene un passaggio posturale, ad esempio discriminando se un passaggio posturale (come l'alzata dalla sedia) avviene con modalità passive o con modalità attive.
5. Lo scaricamento dei dati dalle memorie seriali richiede circa 3 ore.

6. Al termine di ogni acquisizione da 24 ore l'actigrafo deve rimanere in carica per almeno 3 ore.

6.3 Lo strumento realizzato

L'actigrafo costruito si presenta, in termini di dimensioni, molto simile al suo predecessore, con la piccola variante di una fessura collocata sulla sommità dello stesso in cui inserire/rimuovere la memory card.

La nuova versione dell'ActiMotion viene sempre collocata all'altezza dello sterno del paziente e misura le componenti accelerometriche lungo i tre assi dello spazio, ovvero con l'aggiunta della componente antero-posteriore.

Questo, unito all'interfaccia con la memory card, permetterà di abbattere diversi limiti del suo predecessore; in particolare ci permetterà:

- una maggiore capacità di discriminare la postura eretta statica da quella seduta;
- la capacità di distinguere la posizione supina da quella prona;
- un'analisi puntuale del consumo metabolico quotidiano;
- una disponibilità di memoria pressoché illimitata;
- una velocità di scaricamento dati pari a 5 secondi per un'acquisizione di 24 ore.

Nota alla risoluzione dello strumento

Ad un'analisi superficiale si potrebbe obiettare che la risoluzione del Memsic, ossia 2g, non sia adeguata ai nostri scopi.

In realtà, considerando un moto rettilineo uniformemente accelerato e ricordando la prima equazione oraria del moto:

$$v = v_0 + at$$

Risulta evidente che per raggiungere una simile accelerazione è necessario passare da 0 a 100 Km/h in circa 1 secondo e mezzo, ovvero le prestazioni di una vettura di Formula 1.

Più problematici risultano essere i moti circolari: ricordando che l'accelerazione centripeta istantanea in un moto circolare con velocità uniforme è data dall'equazione:

$$a = \frac{v^2}{R}$$

dove R è il raggio di curvatura della traiettoria percorsa; in questa situazione un'accelerazione di 2g può essere ottenuta viaggiando a 160 Km/h su di una circonferenza di 100m di raggio (valore tipico di alcune curve autostradali).

Per quanto riguarda le componenti impulsive, che si generano durante l'inizio e la fine dei movimenti, pur raggiungendo valori in modulo di diversi g , per loro stessa definizione, avendo durata infinitesima, non vengono campionate.

Il problema del monitoraggio durante lo spostamento su veicoli è che risulta impossibile scomporre, con soli tre assi, le componenti del moto rototraslazionale tipico di un'automobile che affronta una curva.

Ad ogni modo, con un filtraggio passa basso, si possono studiare le componenti accelerometriche statiche.