

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

CAMPUS DI CESENA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica

VALIDITÀ E AFFIDABILITÀ NELLE SPECIFICHE CONDIZIONI  
DI CAMMINATA E CORSA SU TREADMILL, DI UN  
PARTICOLARE PROTOTIPO DI ACCELEROMETRO DA POLSO.

Elaborato in  
BIOMECCANICA

Relatore:

Ch.mo Prof. **RITA STAGNI**

Correlatori:

Ing. **GIUSEPPE FEDELE**

Ph.D. **SILVANO ZANUSO**

presentata da

**ALBERTO CRUCIANI**

Sessione di Laurea di Ottobre

Anno Accademico 2013/2014



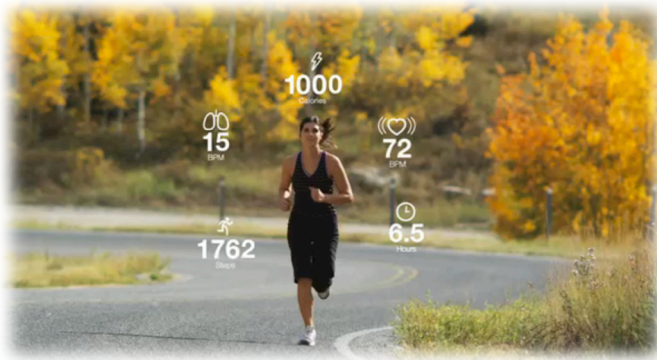
## Sommario

SOMMARIO .....	3
INTRODUZIONE .....	5
MATERIALI & METODI .....	9
- Dispositivo studiato (MyBand) .....	9
- Dispositivo di confronto (MyWellness Key).....	11
- Partecipanti.....	12
- Descrizione del protocollo .....	14
- Strumentazione .....	17
- Analisi dei dati.....	21
RISULTATI .....	27
- Criterion Analysis.....	27
- Concurrent Analysis .....	36
DISCUSSIONE .....	45
CONCLUSIONE.....	51
LETTERATURA .....	53
BIBLIOGRAFIA.....	57
RINGRAZIAMENTI .....	59



## Introduzione

“Ad oggi, noi occidentali rappresentiamo la prima generazione della storia umana in cui gran parte della popolazione deve fare deliberatamente esercizio con l’obiettivo di mantenersi in salute” (Lee, I.M. et al.2009). Gli effetti positivi dell’attività fisica sulla salute sono stati riportati ampiamente in letteratura scientifica (US Department of Health and Human Services, 2008).



**Figura 1:** immagine esplicativa di un articolo della rivista “Wired” per evidenziare il bisogno di una visualizzazione immediate delle proprie prestazioni.

Accertata la presenza di tale necessità, sempre più si sta affermando tra le persone un continuo bisogno di *monitoraggio dell’attività motoria, quotidiana e sotto sforzo.*

Non è un caso che negli ultimi anni sia comparsa sul mercato una notevole quantità di dispositivi di questo tipo, in grado cioè di fornire una stima immediata del livello di attività motoria in termini di consumo calorico e/o distanza percorsa e/o minuti di attività e/o step effettuati; forniti partendo da alcuni semplici dati, relativi alle caratteristiche fisiche dell’utente (altezza, peso ed età).

In uno studio pubblicato nel Novembre del 2007 nel “The Journal of the American Medical Association” alcuni ricercatori hanno rilevato

come i cosiddetti "Activity Monitor" incrementino mediamente l'attività motoria di chi li indossa del 26,9%, ottenendo, in un periodo medio di diciotto mesi, una rilevante diminuzione del BMI (Body Mass Index) nonché dei valori di pressione sanguigna. Questo è in buona parte dovuto alla continua capacità dei dispositivi di fornire dei feedback sull'attività motoria.

La ricerca scientifica in questi anni si è concentrata sull'utilizzo di tali strumenti su due differenti campi:

- Medico: valutazione delle condizioni fisiche di soggetti sovrappeso ed obesi (Swartz et al., NIH (National Institutes fo Health) April 2010; Aadland and Anderssen, *Journal of Obesity*, Volume 2012; Lopes et al., *Journal of Physical Activity & Health*, Vol. 6, 2009), di persone soggette a malattie degenerative come Parkinson ed Alzheimer (E. J. W. Van Someren, *IEEE*, Vol 5, December 1997), di donne in gravidanza (Dawn P. Coe, *ACSM* 2011), di persone che riscontrano gravi malattie (N. Vermaete et al., *Annals of Hematology*, August 2013; Loprinzi et al., Elsevier Inc., 2013);
- Sportivo: valutazione delle condizioni atletiche degli utenti e verifica dell'accuratezza dei dispositivi nel calcolo della spesa energetica, sia in condizioni di sforzo controllato (su treadmill) che condizioni di vita quotidiana (D. J. Macfarlane, *European Journal of Sport Science*, Vol 13, 2013; H. Vathsangam et al., *IEEE*, Vol 10, June 2011; J. Dinesh et al, *NIH*, February 2011).

L'affermarsi sul mercato di tale tipo di commercio non assicura certamente un'affidabilità scientifica ai vari dispositivi; al contrario molto spesso l'accuratezza dei dati è costretta a lasciare il posto a

ben più semplici regole di mercato che rispondo alla legge della domanda e dell'offerta.

È possibile, infatti, trovare i più disparati modelli, che si differenziano tra loro in vestibilità, ergonomia, design, presenza di un display integrato o meno, costo, visualizzazione immediata del livello di attività, interfacciamento con specifiche applicazioni per Smartphone e possibilità di mostrare i propri risultati su i più noti social network in voga al momento. Tutti criteri, quelli citati sino ad ora, che possono portare in fase di progettazione, a distaccarsi da una ricerca di accuratezza del dato scientifico fornito in output da ciascun activity monitor.

La tecnologia interna di questi dispositivi utilizza una sensoristica, costituita principalmente da accelerometri mono o triassiali e da giroscopi, capace di rilevare lo spostamento del dispositivo. Ma anche sensori che sfruttano la pletismografia optoelettronica riflessiva per valutare la frequenza cardiaca media. In realtà la sensoristica interna varia soprattutto in base all'applicazione dello strumento sul corpo: troviamo alcuni accelerometri che posso legarsi al braccio o all'avambraccio, altri che si attaccano alla cintura o possono essere tenuti nelle tasche dei pantaloni permettendo così una maggiore vicinanza al baricentro corporeo, altri ancora possono essere posti sulle orecchie.

In ogni caso i dati ottenuti sono poi inseriti in un algoritmo interno specifico per ogni dispositivo, in grado di calcolare le grandezze fornite in uscita.

Lo scopo di tale studio è la valutazione delle caratteristiche di validità e affidabilità di un particolare prototipo di accelerometro da polso, tipicamente usato per il controllo delle performance dell'attività motoria, denominato "MyBand", dell'azienda "IDT" (*Integrated Device Technology*).

Tale verifica viene effettuata utilizzando un protocollo realizzato nelle specifiche condizioni di corsa e camminata su treadmill suddiviso in differenti velocità: tre velocità (lenta, normale e veloce) per la camminata e tre per la corsa.

Lo studio dei dati sarà basato sul valore della spesa energetica presunto dal dispositivo, verificato dal valore di consumo calorico effettivo, rilevato tramite calorimetria indiretta.

I test di verifica sono stati realizzati all'interno del Laboratorio di ricerca Scientifica dello "Scientific Research Department" dell'azienda Technogym S.p.A.

L'analisi è stata suddivisa secondo due modalità:

- Concurrent analysis: di confronto con un altro dispositivo utilizzato per la valutazione del dispendio energetico, MyWellness Key 1.0 (MWK) di Technogym, strumento in commercio e già validato da precedenti ricerche (M. Bergamin, *Journal of Sport Science and Medicine*, 2012; S. D. Hermann et al., *BSJM (British Journal of Sport Medicine)*, 2011)
- Criterion analysis: verifica della previsione del consumo calorico da parte dello strumento con il dispendio energetico effettivo, ottenuto tramite calorimetria indiretta, utilizzando un metabografo, strumento già presente all'interno del laboratorio di Ricerca Scientifica.



## Materiali & Metodi

### *Dispositivo studiato*

#### **MyBand**

Il MyBand rientra in una categoria di dispositivi che sta trovando largo spazio sul mercato, i cosiddetti "armband", che quindi è possibile legarsi a polso o braccia. È costituito da un cinturino in morbida gomma nera (22.5cm x 1.9cm x 0.2cm), all'interno della quale si incastra il dispositivo vero e proprio (4.4cm x 1.6cm x 1cm).

Non è stato possibile ottenere informazioni relative alla sensoristica interna, per una elevata riservatezza dell'azienda produttrice. Si può affermare però con una certa sicurezza che internamente si trova un accelerometro di tipo triassiale, in grado di misurare le accelerazioni in tutte le direzioni dello spazio.

Il dispositivo è quindi progettato per essere

indossato al polso e permette di rilevare, proprio per la sua posizione, anche le accelerazioni, non solo relative al baricentro corporeo, ma anche relative all'estremità superiore, che ad esempio nel caso della MWK non sono rilevate. Conseguentemente possiamo affermare che la rilevazione del movimento corporeo e quindi il calcolo del consumo calorico è molto influenzato dalla gesticolazione dell'individuo che



**Figura 2:** Vista laterale del device "MyBand". Il sensore è incastrato nella gomma, nella parte più spessa, mentre la parte restante costituisce il braccialeto.

utilizza il dispositivo (sia in fase di camminata ed ancora di più in fase di corsa).

MyBand non presenta un monitor per la visualizzazione immediata dei dati, ma presenta solamente quattro led di differenti colori per le varie funzionalità del dispositivo:

- Rosso: indica che il livello d'intensità in termini di tempo dedicato ad attività motoria, è basso (rispetto agli obiettivi preposti); inoltre in fase di carica indica che il dispositivo non ha ancora raggiunto la carica completa;
- Verde: indica che il livello d'intensità è medio (sempre rispetto agli obiettivi preposti); inoltre in fase di carica indica il completamento della carica delle batterie;
- Viola: indica il passaggio dalla modalità "ATTIVITA'" alla modalità "SONNO" e viceversa (per fare questo deve essere tenuto premuto per 3 secondi l'unico pulsante presente sul dispositivo);
- Blu: indica che il livello d'intensità è alto (sempre rispetto agli obiettivi preposti); inoltre indica l'attivazione del sistema Smart Bluetooth (se il pulsante è premuto per più di 5 secondi), necessario per poter trasferire i dati all'applicazione per Smartphone (unica modalità di visualizzazione dei dati)

L'applicazione (App.) per Smartphone ("Dynamo" e altre simili) è quindi l'unica modalità di interazione con il dispositivo. E' possibile visualizzare il livello percentuale di attività, la distanza percorsa, i passi effettuati e le calorie consumate; per ciascuno di essi è possibile impostare degli obiettivi da raggiungere e visualizzare il grafico dell'andamento giornaliero e settimanale e mensile e annuale. Inoltre è possibile inserire o modificare i dati relativi all'utente (età, peso, altezza e sesso) anche in questo caso necessari all'algoritmo interno per ottenere dei dati sul consumo calorico specifici dell'individuo.

## *Dispositivo di confronto (per la "concurrent analysis")*

### **MyWellness Key**

La MWK è un piccolo dispositivo ( $8.5 \times 2.0 \times 0.7 \text{ cm}^3$ ), leggero (18.7 g), realizzato quasi interamente in plastica rigida, costituito da un accelerometro monoassiale in grado di misurare accelerazioni verticali del corpo umano, quando è in movimento. Questo dispositivo è stato progettato per integrare sia i dati provenienti dall'esecuzione di esercizi di camminata e corsa su macchina (su treadmill), sia i dati provenienti da attività libera (che sia di vita quotidiana o attività sportiva).

Se indossato nella corretta posizione, legato quindi alla vita, tramite l'apposito supporto a molla, in posizione orizzontale, è appunto in grado di rilevare presenza di movimento e intensità del movimento per convertirlo poi in valori di consumo calorico.

Il device ha una frequenza di campionamento di 16 Hz ed è in grado di misurare accelerazioni nel range  $[0.06g \div 12.00g]$  (dove  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ) con una risposta in frequenza che va da 0.1 a 5.0 Hz.

Tramite l'algoritmo implementato internamente la MWK converte i dati grezzi e fornisce in tempo reale il livello di attività di una persona durante il corso della giornata in un piccolo display a cristalli liquidi.

Il dispositivo utilizza una grandezza propria, simile all'equivalente metabolico (MET) minuto, denominata "MOVE" ed utilizzata per misurare il volume totale di attività fisica. Sul display a cristalli vengono anche visualizzate le calorie bruciate e gli obiettivi che ci si è posti sia per i MOVE che per le calorie.



**Figura 3:** Posizionamento a livello delle spine iliache del dispositivo MtWellness Key.

Inoltre il dispositivo suddivide il tempo di attività fisica in tre livelli che variano in base all'equivalente metabolico: light (1.8÷2.9 METs), moderato (3÷5.9 METs) e vigoroso ( $\geq 6$  METs).

Questi dati, relativi al livello di intensità, sono visualizzabile solo collegando lo strumento, tramite la porta USB integrata, ad un PC sul quale è installato il software "MyWellness Link". Tramite questo collegamento è possibile visualizzare tutti i dati e mantenere quindi uno storico di tutta l'attività fisica (in termini di MOVE, calorie bruciate e tempo/livello di intensità). Inoltre è la piattaforma usata per poter impostare tutti i dati relativi alla persona che utilizza il dispositivo (età, peso, altezza e sesso) necessari all'algoritmo del dispositivo per fornire dei calcoli corretti e specifici dell'individuo.

### *Partecipanti*

Le persone che hanno eseguito il test (13 maschi e 10 femmine) sono stati reclutati tra due tipi di popolazione differente: alcuni erano dipendenti dell'azienda Technogym S.p.A., all'interno della quale sono stati svolti i test, la maggior parte dei quali lavorano nel reparto di Ricerca & Sviluppo; altri invece erano studenti universitari presso la Seconda Facoltà di Ingegneria presso Cesena e coinvolti tramite conoscenza diretta.

I criteri d'inclusione dei tester sono basati su un indice di massa corporea (BMI) compreso tra 18.5-29.9 kg/m<sup>2</sup> (con particolare attenzione agli individui con BMI nel range 25-29.9 kg/m<sup>2</sup> in quanto rientranti nella fascia "visibilmente sovrappeso": si è assicurata l'atleticità dei tester, poiché possono rientrare in questa categoria di BMI anche individui con una grossa massa muscolare); sono stati scelti indifferentemente da sesso, razza o etnia, ma con una età compresa tra i 18 e i 60 anni e con una attività fisica frequente.

Sono stati scelti tester non fumatori o se fumatori, che praticano una frequente ed intensa attività fisica: questo per non alterare

l'assunzione dei valori di  $VCO_2/Kg$  (consumo di diossido di carbonio relativo) da parte del metabografo.

Si è verificato il bilanciamento delle diete dei partecipanti, in particolare che nessuno di essi stesse seguendo una dieta con prevalenza di proteine. Inoltre si è chiesto ai tester di rispettare alcune regole prima dell'esecuzione dei test, in modo da evitare l'alterazione della rilevazione dei dati effettivi da parte della strumentazione per calorimetria indiretta: evitare pasti e assunzione di caffeina nelle 3 ore antecedenti; evitare attività fisica intensa nelle 48 ore antecedenti; per i fumatori evitare assunzione di nicotina nelle 4 ore antecedenti.

Prima di effettuare il protocollo, i partecipanti sono stati pesati mentre erano senza scarpe e indossavano vestiti leggeri (pantaloncini leggeri e T-shirt); sono stati misurati in altezza mentre erano senza scarpe.

Il protocollo di test sviluppato per la validazione dell'activity monitor è stato svolto da 23 persone, mentre 3 persone non hanno potuto svolgere il test causa problemi di connessione tramite Smart Bluetooth tra il dispositivo e l'app. per Smartphone.

	<b>TOTALE</b>	<b>UOMINI</b>	<b>DONNE</b>
<b>N</b>	23	13	10
<b>Età (anni)</b>	28 ± 10	31 ± 10	24 ± 9
<b>Altezza (m)</b>	1.755 ± 0.104	1.833 ± 0.062	1.653 ± 0.032
<b>Peso (Kg)</b>	67.5 ± 15.1	78.6 ± 9.9	53.0 ± 4.3
<b>BMI (Kg*m<sup>-2</sup>)</b>	21.6 ± 2.8	23.3 ± 2.2	19.4 ± 1.6

**Tabella 1.** La tabella riporta un riassunto i dati ottenuti sui tester, sia nel totale che nella suddivisione uomini e donne. Per ciascun dato e categoria viene riportato il valore medio e la deviazione standard ("Mean Value" ± "Standard Deviation").

Come si può notare da tabella l'età media è attorno ai 28 anni, anche se poi la deviazione standard è piuttosto alta (10); questo è dovuto alla presenza di due popolazioni con età ben distinte: una costituita da ragazzi universitari con età media di 21 anni ed una costituita da dipendenti Technogym, prevalentemente dell'ente R&D (Research & Design), con età media 39.

BMI (Body Mass Index) o indice di massa corporea è la media di tutti i BMI dei singoli tester calcolati secondo la formula:

$$\text{BMI} = \text{Peso(Kg)}/\text{Altezza}^2(\text{m}^2)$$

Il BMI medio e la sua deviazione standard rientrano all'interno della categoria "normopeso", mentre il valore massimo di  $26.6 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$  e quello minimo di  $18.7 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , rientrano nei limiti di accettabilità inizialmente posti per tale valore.

Nello svolgimento dei test, è da sottolineare il fatto che alcuni tester, in particolare donne, non sono riuscite a svolgere l'ultima fase a 12 Km/h in quanto troppo veloce per le loro capacità motorie, pertanto l'analisi dei dati è viziata da questo risultato.

### *Descrizione del protocollo*

Nella prima fase di esecuzione del protocollo di test, sono stati inizializzati tutti gli strumenti. Sia la MWK sia il MyBand sono stati configurati con i rispettivi metodi di configurazione precedentemente descritti ("MyWellness Link" e "Dynamo App." rispettivamente); inserendo i dati richiesti relativi a ciascun tester (età, peso, altezza e sesso).

Nel frattempo è stato calibrato il metabografo tramite calibrazione a gas. La procedura di calibrazione prevede l'utilizzo di una bombola di calibrazione standard (5 Litri a 200 bar): si apre la bombola, girando l'apposita manopola in senso antiorario, quindi si ruota la manopola di regolazione della pressione in uscita in senso orario portando la pressione tra 4 e 5 atmosfere. La calibrazione vera e propria avviene quindi tramite PC e apposito software: si avvia il programma di "Calibrazione", si verificano i valori inseriti sia per l'aria ambiente che per il gas di calibrazione. Si connettono il lettore optoelettrico ed il filtro antisaliva, montato al tubo di campionamento, alle rispettive prese poste sull'apparecchio. Si sceglie quindi l'istruzione "Gas" dal menu di "Calibrazione" e il software esegue automaticamente la procedura. Dopo 90 secondi circa viene visualizzato il grafico relativo alla calibrazione di CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Al termine della procedura il software visualizza i nuovi fattori di calibrazione, comparati con gli ultimi disponibili.

È stato fatto indossare al tester la fascia toracica cardiofrequenzimetro necessaria per inviare l'HR (Heart Rate, frequenza cardiaca), tramite sistema Bluetooth, al sistema di rilevazione della calorimetria indiretta. Tramite tale rilevazione si poteva notare istante per istante l'attività cardiaca della persona e controllare quindi il suo stato fisico. Si è quindi verificato il funzionamento della fascia toracica e la corretta rilevazione del dato. È stata fatta per ciascun tester una prima prova di utilizzo di tutti i dispositivi in modo da assicurare il funzionamento di tutta la strumentazione ma soprattutto per far provare a ciascun tester la sensazione di camminare/correre con una maschera abbastanza ingombrante come quella utilizzata nella calorimetria indiretta. Questo tramite una veloce sessione di due minuti durante la quale i tester hanno camminato ad una velocità di 4 km/h. Questa fase è stata utilizzata anche come riscaldamento cardio-muscolare.

È stato brevemente spiegato in cosa consiste il protocollo e come svolgerlo: cercando di essere il più disinvolti possibile, di non poggiare le mani sui maniglioni laterali del treadmill, respirare normalmente senza essere inibiti dalla strumentazione utilizzata.

Il protocollo su treadmill consiste quindi di sei differenti step, tre per la camminata e tre per la corsa:

- Camminata lenta \_\_\_\_\_ 3 Km/h
- Camminata normale \_\_\_\_\_ 4,5 Km/h
- Camminata veloce \_\_\_\_\_ 6 Km/h
- Corsa lenta \_\_\_\_\_ 8 Km/h
- Corsa normale \_\_\_\_\_ 9 Km/h
- Corsa veloce \_\_\_\_\_ 12 Km/h

Ogni step ha avuto la durata di sei minuti e non sono stato eseguiti in progressione ma alternando step di corsa e step di camminata con l'attenzione di lasciare come primo esercizio quello di camminata lenta a 3 Km/h e come ultimo quello di corsa veloce di 12 km/h. Questo è stato fatto per evitare una progressione nell'esecuzione dei test con conseguente effetto rampa che potrebbe influenzare l'organismo fornendo un gradiente di dispendio energetico. Al termine di ogni fase, il tester è stato fatto riposare per 5 minuti prima di iniziare con lo step successivo, tempo valutato utile e necessario per ristabilire dei valori di consumo di ossigeno ed Heart Rate prossimi ai normali valori da riposo.

Questo protocollo è stato scelto per approfondire nello studio come il dispositivo lavora nelle diverse modalità di esecuzione motoria, quindi in camminata e corsa.

Approfondendo diverse ricerche di questo tipo si è notata l'assenza di un protocollo d'esercizio univoco per la validazione di questo tipo di strumentazione; si è pertanto deciso riprendere un protocollo già



utilizzato in precedenza per la validazione di uno dei due dispositivi da noi utilizzati, la MWK (M. Bergamin, *Journal of Sport Science and Medicine*, 2012); Tale device è, infatti, stato utilizzato per la concurrent analysis. Si è però deciso di incrementare il protocollo d'esercizio utilizzato dal Bergamin, aggiungendo le due fasi di "corsa normale" e "corsa veloce", con lo scopo di ottenere un'analisi allargata a maggiori condizioni di utilizzo.

Prima di ogni step sono stati resettati i dati dei due activity monitor mentre al termine di ogni fase i dati sono stati archiviati su apposito software.

A monitor, tramite il software per acquisizione dei dati della calorimetria indiretta, erano visualizzati in tempo reale l'andamento della  $VO_2/Kg$  (consumo d'ossigeno relativo) e dell'HR; i dati ottenuti dal metabografo venivano invece archiviati direttamente dal software di servizio di tale strumentazione.

## *Strumentazione*

Dispositivi hardware:

- **Bilancia:** Smart Body Analyzer, di "Withings". È un sistema pesistico avanzato, comprendente oltre alla misurazione della massa corporea il calcolo del rapporto massa magra/massa grassa e il calcolo del BMI, e la condivisione tramite Bluetooth dei dati con App per Smartphone. All'interno dello studio la bilancia è stata utilizzata semplicemente per misurare il peso corporeo dei tester, poco prima di eseguire il test, indossando vestiti leggeri (pantaloncini da corsa e T-shirt) e senza scarpe. La bilancia ha una sensibilità di 0.1 kg.

- **Stadiometro:** per misurare la statura delle persone è stato utilizzato il Seca Model 213; è uno strumento portatile ma con una base molto stabile che certifica l'accuratezza del dato. Ha una scala graduata con una sensibilità di 0.1 cm. A tutti i tester è stata presa la misura dell'altezza da scalzi.
- **Metabografo:** Quark b<sup>2</sup> di Cosmed Srl. È uno strumento costituito in più parti: la parte principale del sistema contiene al suo interno tutti i componenti principali (analizzatori, elettronica di controllo, valvole...); ha un ingombro di 17x30x5 cm e utilizza una alimentazione di 220 V ± 10% ad una frequenza di 50-60 Hz, con potenza di assorbimento di 220W; appartiene alla classe di rischio 1 tipo B (IEC601-1). Questa prima parte è collegata tramite porta RS232 ad un Personal Computer. Sono poi collegate al sistema, ulteriori componenti: la maschera porta turbina che regge appunto una turbina bidirezionale, di diametro 28 mm, che offre una bassa resistenza al flusso (<0,7



**Figura 4:** Postazione per prova da sforzo cardiorespiratoria, COSMED Quark b<sup>2</sup>.

cmH<sub>2</sub>O/l/s ad un flusso di 12 l/s), ha un range di misura [0,3÷20 l/s] una risoluzione di ml e una accuratezza di circa ±2%; la bombola di calibrazione standard (5 litri, 200 bar) con la seguente concentrazione di gas: ossigeno 16%(±2%), anidride carbonica 5%(±2%) e azoto 79%.

Tale strumentazione necessita di una buona manutenzione per poter fornire dei valori scientificamente validi; pertanto il

Cosmed Quark b2, durante la fase di test è stato resettato e ricalibrato ogni 3 tester, cioè circa ogni 3-4 ore di utilizzo, sono stati puliti filtri sostituiti i cateteri di collegamento, necessari per rilevare l'espiazione prodotta dal tester, tra la maschera porta turbina e la restante strumentazione di rilevazione.

- **Fascia toracica cardiofrequenzimetro:** Fascia cardio trasmettitore Polar T31; la fascia per funzionare va posizionata a contatto della pelle sul torace e riesce a rimanere salda nella posizione grazie all'elastico allegato. La parte a contatto con la pelle ha dei sensori a sfioro, che per fornire un battito preciso necessita di una certa dose di umidità (si usa spesso bagnare la pelle in zona toracica o attendere che il sudore bagni il sensore e migliori il segnale). La fascia ha un peso di circa 20 g, la batteria ha una durata di circa 2500 ore e lo strumento è resistente all'acqua (impermeabilità del 100%). Lo strumento invia dati relativi al segnale che li rileva non più di due volte al secondo.



**Figura 5:** fascia toracica cardiofrequenzimetro simile a quella utilizzata nella fase di test.

- **Smartphone rilevazione dati MyBand:** è stato utilizzato un iPhone 5 di Apple Inc., dotato di sistema Smart Bluetooth, necessario per avere una visualizzazione del contenuto dati del dispositivo MyBand.
- **Treadmill:** Run Artis di Technogym S.p.A.. Il tapis roulant ha una superficie di corsa molto ampia: 58x154 cm circa, con una ottima tecnologia di ammortizzazione. Ha un range di inclinamento elettronica di 0÷15% di salita. Ha una struttura molto robusta ed è abilitato per persone con statura compresa

- tra 145 e 210 cm ed un peso massimo di circa 220 Kg. Lo schermo touch screen, oltre alle varie attività di intrattenimento ed i vari programmi e modalità di allenamento, permette di visualizzare, nella fase di allenamento: tempo di attività, distanza percorsa, velocità espressa sia in Km/h che in min/Km, inclinazione del piano di corsa, calorie consumate (impostando peso ed età), frequenza delle pulsazioni.



**Figura 6:** Treadmill Run ARTis di Technogym. Si nota in figura l'ampia superficie di corsa, utile durante il suo utilizzo nel corso dello studio, per inibire il meno possibile i tester

Applicativi software:

- **App "Dynamo"**: scaricata e installata gratuitamente all'interno dello Smartphone. È l'interfaccia che permette di configurare e leggere i dati dal MyBand. In particolare fornisce in uscita il valore delle Kcal consumate, con un'accuratezza pari ad 1Kcal.
- **Software Quarkwin b<sup>2</sup>**: di Cosmed Srl, è il software proprietario installato all'interno del PC e necessario per poter utilizzare il metabografo. Permette di avviare il processo di calibrazione dello strumento, rilevare i dati, fornire i risultati in tempo reale sia in forma grafica che numerica e di archivarli. Fornisce in uscita differenti grandezze, calcolate a partire dai valori di inspirazione ricevuti in ingresso e utilizzando alcune equazioni descritte nel manuale d'uso. In particolare fornisce in

uscita il valore del consumo d'ossigeno, del consumo di anidride carbonica e di consumo calorico al minuto, con una accuratezza pari a 0,001 Kcal/min.

- **Mywellness link**: applicazione per PC, utilizzata per configurare i dati dell'utente nella MWK. Permette di visualizzare, anche in forma numerica, i dati, organizzati in grafico; oltre ai MOVE e livello di intensità fornisce in uscita il valore della calorie consumate con una sensibilità pari ad 1 Kcal.
- **Excel all'interno del pacchetto Microsoft Office 2010 di Microsoft Corporation**: è stato utilizzato per l'archiviazione dei dati nella fase di rilevazione e test.
- **MatLab R2012b**: software utilizzato nella fase di studio dei dati.

### *Analisi dei dati*

Il metodo di analisi della validità e affidabilità del dispositivo, utilizza come grandezza di confronto il dispendio energetico (Kcal).

Il device MyBand studiato, calcola tramite un algoritmo interno, il valore del consumo calorico e lo fornisce in uscita direttamente, utilizzando i dati relativi all'accelerazione e i dati relativi al soggetto che lo indossa.

La MyWellness Key utilizza un procedimento analogo per stimare il consumo calorico, utilizzando un algoritmo proprietario.

Per questi due strumenti, ad ogni step sono stati archiviati i valori forniti in uscita, in modo particolare quelli relativi alla spesa

energetica, corrispondenti agli ultimi 6 minuti di utilizzo, tempo di esecuzione della singola fase del protocollo.

Il metabografo invece fornisce in uscita diversi parametri tra cui il consumo di ossigeno relativo al minuto ( $VO_2$  in ml/min), il consumo di diossido di carbonio relativo al minuto ( $VCO_2$  in ml/min) e anche l'EE (Energy Expenditure in Kcal/min) direttamente calcolata utilizzando i valori delle due grandezze prima citate secondo la formula:

$$EE(\text{Kcal/min}) = 3.781 * VO_2 + 1.237 * VCO_2$$

Per confrontare i dati del metabografo e quelli del MyBand, è stata fatta una media dei valori di EE negli ultimi due minuti di ciascuna fase di test. È stato scelto questo intervallo di tempo poiché è un periodo dove i valori hanno raggiunto un'accettabile livello di stato stazionario (steady-state).

La media di EE negli ultimi due minuti è stata quindi moltiplicata per un fattore uguale a 6 per ottenere il consumo calorico effettivo di ciascuno step del protocollo (della durata di 6 minuti, appunto) e quindi per renderlo confrontabile con i dati rilevati dall'accelerometro.

I dati ottenuti dai tre diversi strumenti sono quindi stati utilizzati per approfondire le due differenti tipologie di analisi ("concurrent" e "criterion"). Tramite MatLab sono stati stampati i grafici di correlazione e i grafici Bland-Altman.

Il grafico di correlazione è una tipologia di grafico a dispersione, dove i dati descrivono la relazione che c'è tra la grandezza che si trova sull'asse delle ascisse e quella che si trova sull'asse delle ordinate. In questo studio la correlazione che si ricerca è una correlazione di tipo lineare, descritta dalla linea ideale che segue l'andamento di una bisettrice del quadrante del grafico e che presenta quindi

un'equazione del tipo  $y(x)=x$ . È descritta da questo tipo di retta poiché, in entrambi i tipi di analisi, si ha un allineamento perfetto tra i dispositivi se forniscono in uscita lo stesso valore (appunto  $y=x$ ).

Nel grafico viene visualizzata anche la linea di tendenza che è la linea che descrive invece la reale correlazione che c'è tra le due grandezze.

Tramite MatLab sono poi stati calcolati gli errori che i dati compiono rispetto all'idealità:

- Sensibilità statica: rappresenta la pendenza della linea di tendenza dello strumento, quindi il coefficiente angolare della sua retta. La sensibilità statica della linea ideale, data la sua equazione già precedentemente scritta, è pari ad 1.
- Deriva di zero: è la variazione della caratteristica di uscita rispetto alla caratteristica ideale; data l'equazione della retta ideale, il cui incrocio con l'asse delle ordinate è sempre pari a 0, la deriva di zero equivale, in questo caso di studi al punto di incrocio con l'asse delle ordinate della linea di tendenza dei dati.
- Deriva di sensibilità: è la variazione del coefficiente angolare della linea di tendenza rispetto a quello della idealità. Poiché come già detto la retta ideale ha coefficiente pari ad 1 equivale a:

$$\text{Deriva di sensibilità} = 1 - \text{Sensibilità statica}$$

- Funzione costo (r): è la sommatoria di tutti gli errori sperimentali ( $e_i$ ), ciascuno elevato al quadrato:

$$r = \sum e_i^2$$

dove

$$e_i = z_i - z_{m_i}$$

dove  $z_i$  è il valore sperimentale cioè il valore rilevato tramite MyBand mentre  $z_{m_i}$  è il valore predetto dal modello quindi il consumo calorico rilevato tramite metabografo.

- Accuratezza: è il massimo errore che lo strumento può commettere.
- Coefficiente di correlazione di Pearson (R): è il fattore che meglio esprime la correlazione dei due strumenti e, quindi, quanto il MyBand si avvicina ad una corretta rilevazione del consumo calorico. È espresso come il rapporto tra la covarianza (Cov(XY) dove X e Y sono i dati sui corrispettivi assi) e la radice quadrata del prodotto della varianza dei due strumenti (S(X) e S(Y)):

$$R = \text{Cov}(XY) / \sqrt{S(X) * S(Y)}$$

Il suo quadrato ( $R^2$ ), detto coefficiente di determinazione, spesso rappresentato in forma percentuale, fornisce una valida indicazione di quanto il modello sia esprimibile con una correlazione di tipo lineare: un valore pari ad 1 (100%), dice che la correlazione è una correlazione di tipo lineare e che lo strumento ha una rilevazione identica a quella fatta tramite calorimetria indiretta (nel caso di criterion analysis) o tramite MWK (nel caso di concurrent analysis).

Una differente tipologia di analisi di questo tipo di dati può essere fatta tramite dei grafici Bland-Altman.

Questa modalità di analisi viene utilizzata per sottolineare l'errore nella previsione del consumo calorico da parte del MyBand. L'analisi è stata fatta sia per tutto il protocollo di studi, cioè per tutti i dati nel loro complesso, che separatamente per ciascuna velocità.



La dispersione dei dati, infatti, non indica il valore diretto di spesa energetica, ma l'errore che lo strumento da validare ha fatto nella rilevazione delle Kcal rispetto al valore atteso; quindi per ciascun dato la differenza tra il valore reale (stimato tramite MyBand) e quello effettivo (stimato tramite metabografo, in un caso, e MWK, nell'altro).

Nel grafico si visualizzano anche tre differenti linee parallele all'asse delle ascisse. La linea principale, continua e posta centralmente rispetto le altre due, indica il "mean value", cioè la media di tutti gli errori di rilevazione dello strumento, rispetto al valore stimato:

$$\text{Mean Value} = (\text{Kcal (MyBand)} - \text{Kcal (metabografo)})/N$$

dove N equivale al numero di prove studiate.

Le due linee tratteggiate e parallele tra loro, indicano invece i valori limite cioè indicano l'intervallo all'interno del quale l'errore commesso dallo strumento può essere considerato accettabile; il loro valore è definito come:

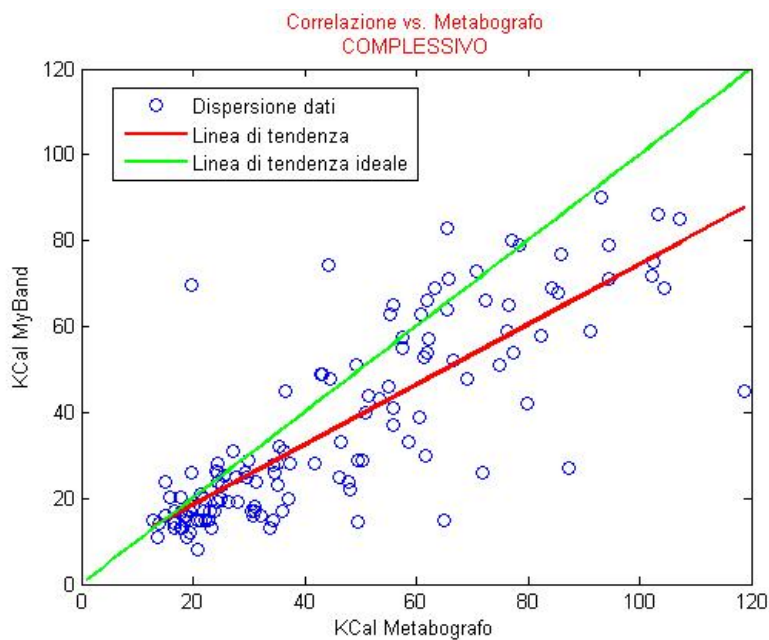
$$\text{Mean Value} \pm 1.96 * SD$$

dove SD è il valore della deviazione standard mentre 1.96 è un valore che, supponendo una distribuzione dei dati di tipo gaussiano, secondo la classica forma a campana, indica il limite per cui i dati rientrano all'interno del 95% della deviazione standard di tutti i valori.



## Risultati

### Criterion Analysis: MyBand vs. metabografo



**Figura 7:** rappresenta il grafico di dispersione dei dati di spesa energetica (espressa in Kcal), dove viene descritta la correlazione tra il consumo calorico effettivo rilevato tramite metabografo ed il consumo calorico rilevato tramite MyBand. La correlazione reale è descritta dalla linea di tendenza rossa, mentre quella ideale (corrispondente alla bisettrice del quadrante con equazione  $y(x)=x$ ) è descritta dalla linea di colore verde.

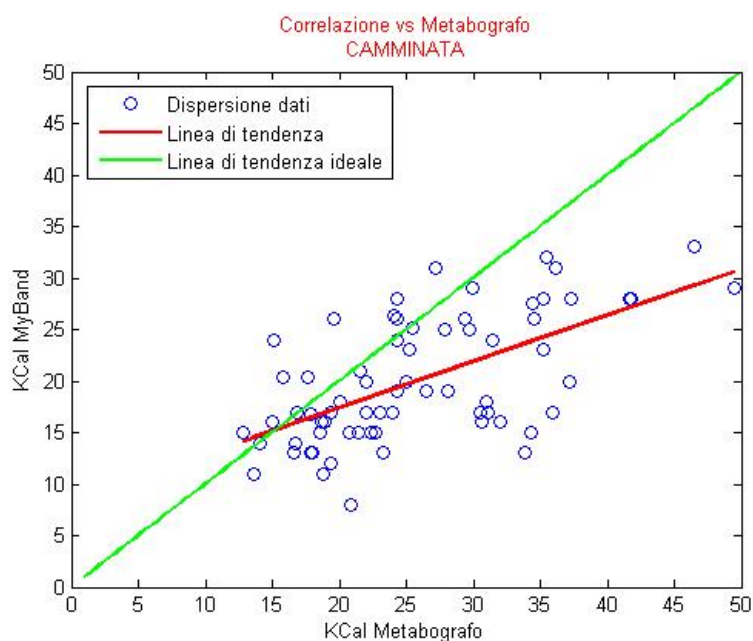
L'activity monitor è uno strumento di rilevazione molto differente dalla calorimetria indiretta e la sua linea di tendenza, in rosso, fornisce delle importanti informazioni sulla correlazione dei due strumenti. Pertanto lo strumento presenta le seguenti caratteristiche:

Sensibilità statica	0.700
Deriva di zero	4.558
Deriva di sensibilità	0.300
Funzione costo	$4.017 \cdot 10^4$
Accuratezza	73.650
R ( $R^2$ )	0.815 (0.664)

**Tabella 2:** caratteristiche di correlazione tra metabografo (gold standard) e MyBand (strumento da validare), nel caso complessivo, considerando quindi tutte le velocità di esecuzione del protocollo.

Nel corso dello studio e dopo diverse considerazioni, tratte dall'osservazione di altri activity monitor di ultima generazione, si è notato come questi strumenti siano spesso in grado di rilevare la differenza di andamento tra corsa e camminata.

Di seguito di riportano le correlazioni dei due oggetti suddivise nei due andamenti. Vengono suddivise nei due casi anche le caratteristiche della linea di tendenza reale.



**Figura 8:** rappresenta il grafico di dispersione dei dati di spesa energetica (Kcal), nello specifico caso di camminata su treadmill (alle velocità di 3 - 4.5 - 6

Km/h), descrivendo la correlazione tra metabografo e MyBand. La correlazione reale è descritta dalla linea di tendenza rossa, mentre quella ideale dalla linea di colore verde.

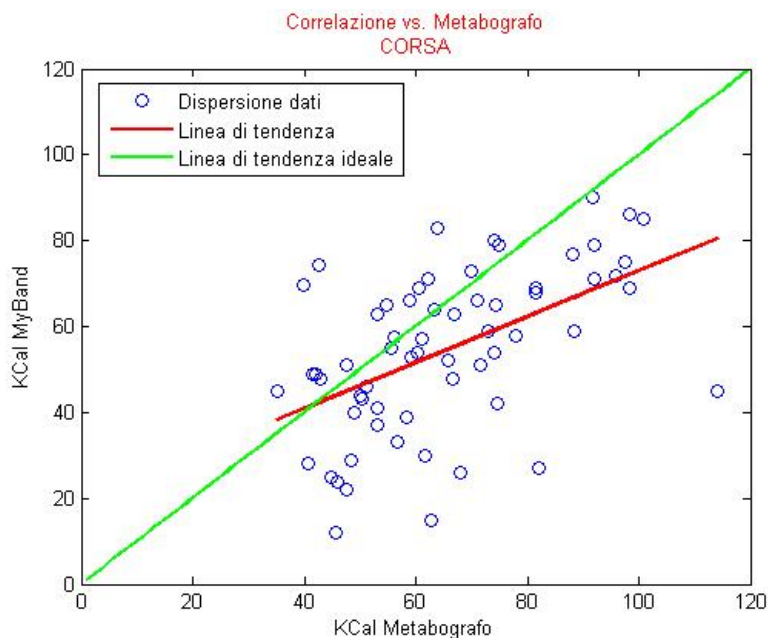
Nello specifico caso di camminata si ottengono le seguenti caratteristiche:

Sensibilità statica	0.449
Deriva di zero	8.458
Deriva di sensibilità	0.551
Funzione costo	$4.475 \cdot 10^3$
Accuratezza	20.858
R ( $R^2$ )	0.612 (0.374)

**Tabella 3:** caratteristiche di correlazione tra metabografo (gold standard) e MyBand (strumento da validare), nel caso specifico di camminata su treadmill, quindi alle velocità di 3 – 4,5 – 6 Km/h.

Si nota come la linea di tendenza sia ben più pendente rispetto al caso complessivo; dato sottolineato anche dal valore della sensibilità statica, ben distante dal valore esatto della linea ideale (coefficiente angolare pari ad 1).

Andando invece a considerare l'altra andatura, di corsa su treadmill, si ottengono questi risultati:



**Figura 9:** rappresenta il grafico di dispersione dei dati di spesa energetica (Kcal), nello specifico caso di camminata su treadmill (alle velocità di 8 – 9 – 12 Km/h), descrivendo la correlazione tra metabografo e MyBand. La correlazione reale è descritta dalla linea di tendenza rossa, mentre quella ideale dalla linea di colore verde.

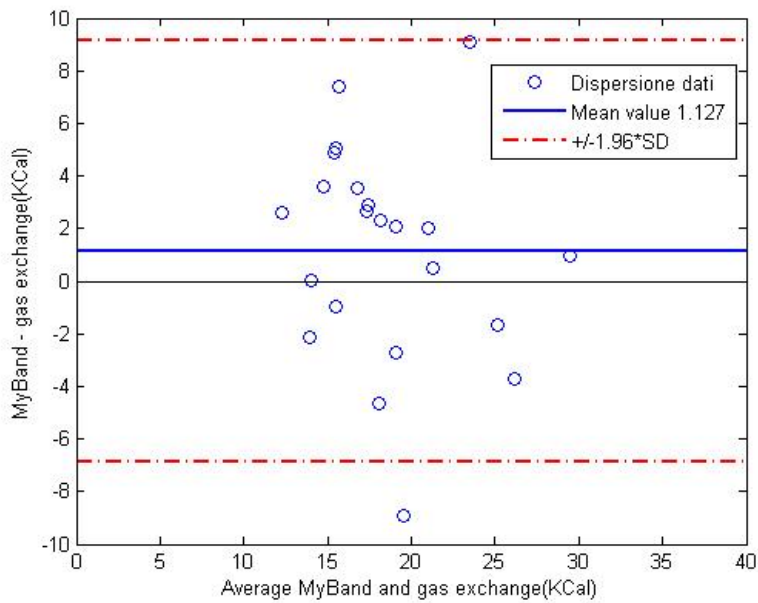
con caratteristiche di questo tipo:

Sensibilità statica	0.450
Deriva di zero	24.190
Deriva di sensibilità	0.550
Funzione costo	$3.515 \cdot 10^4$
Accuratezza	73.650
R ( $R^2$ )	0.474 (0.225)

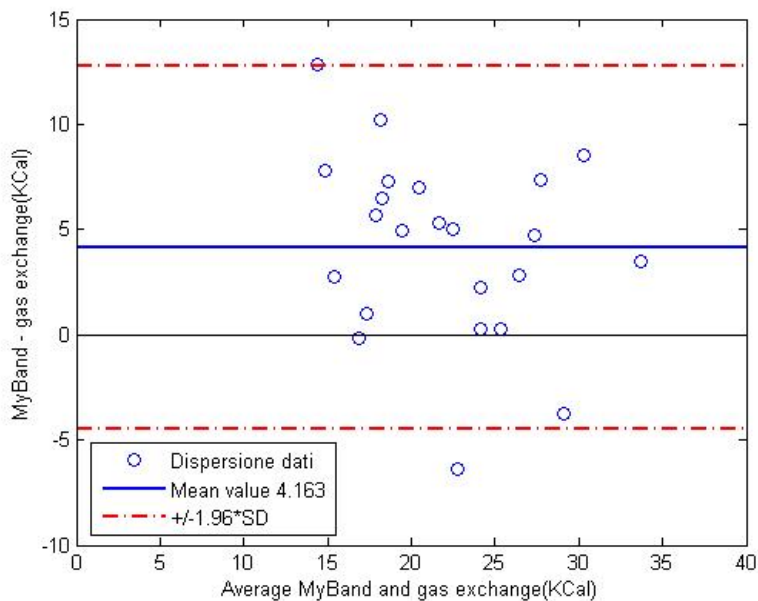
**Tabella 4:** caratteristiche di correlazione tra metabografo (gold standard) e MyBand (strumento da validare), nel caso specifico di corsa su treadmill, quindi alle velocità di 8 – 9 – 12 Km/h.

Una differente tipologia di analisi di questo tipo di dati può essere fatta tramite dei grafici Bland-Altman. Si riportano di seguito i grafici che descrivono le differenze tra i due strumenti, distintamente per

ogni velocità e infine, in maniera riassuntiva, nel complesso di tutti i dati.

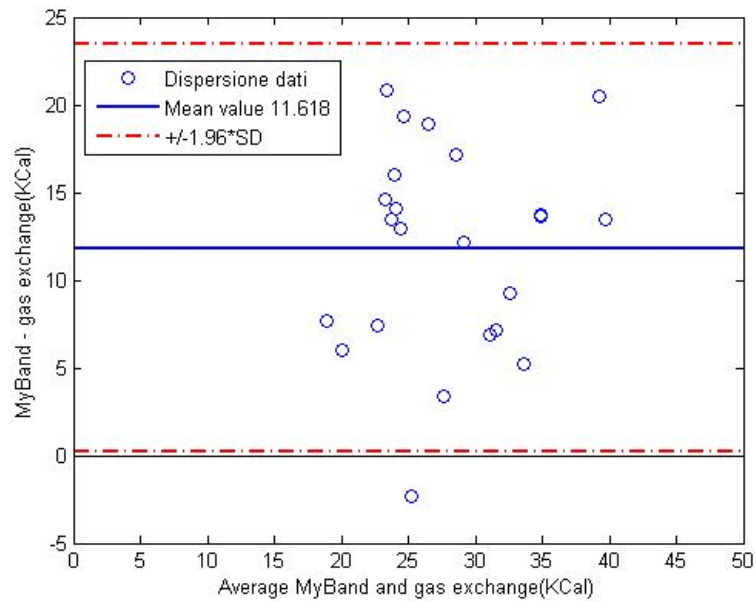


**Figura 10:** Grafico Bland-Altman relativo alla velocità di 3Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.

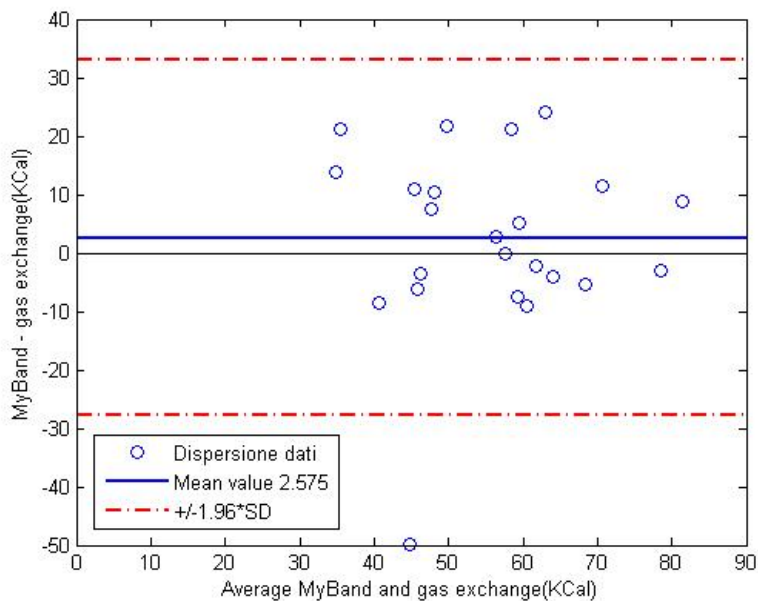


**Figura 11:** Grafico Bland-Altman durante la velocità di 4.5Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea

continua rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.



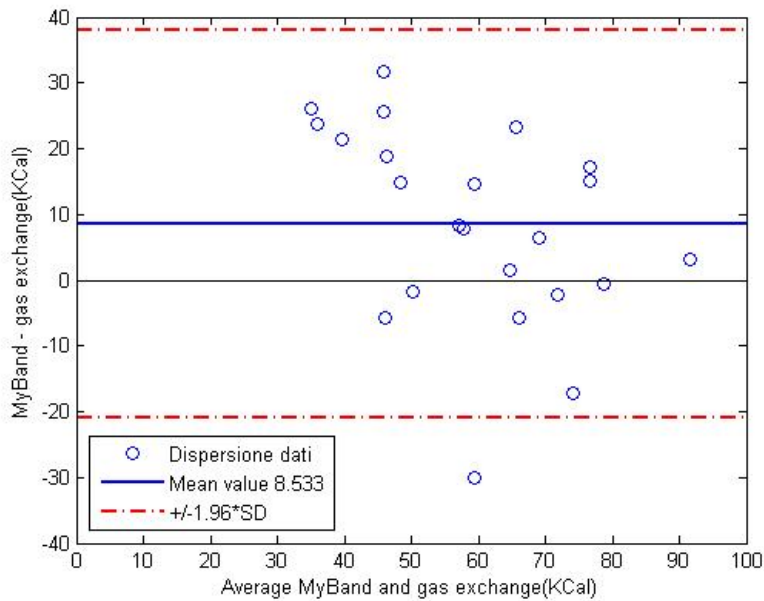
**Figura 12:** Grafico Bland-Altman durante la velocità di 6Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.



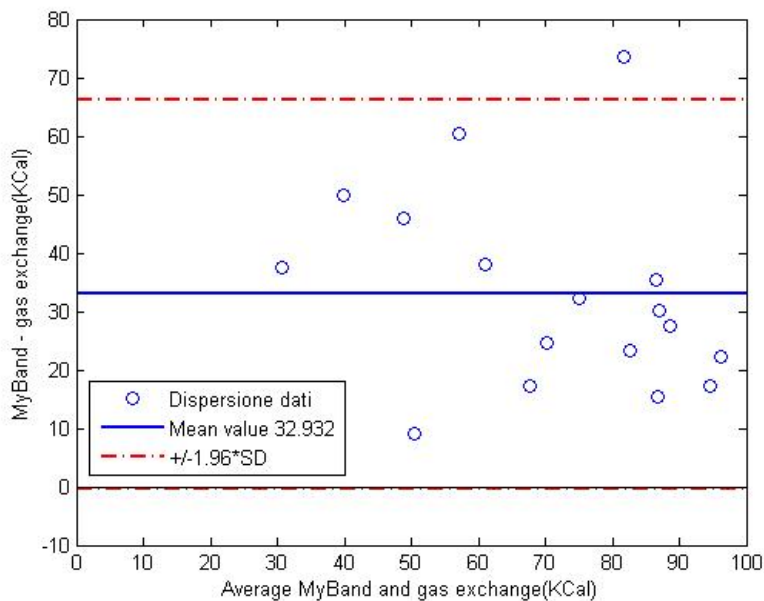
**Figura 13:** Grafico Bland-Altman durante la velocità di 8Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea



continua rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.



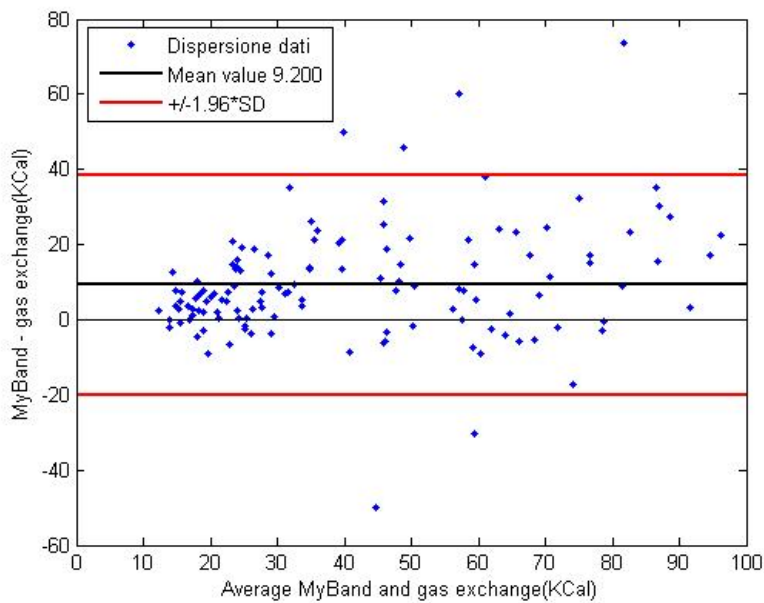
**Figura 14:** Grafico Bland-Altman durante la velocità di 9Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.



**Figura 15:** Grafico Bland-Altman durante la velocità di 12Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea

continua rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.

Volendo fare una analisi tramite grafici Bland-Altman complessiva, andando quindi ad introdurre nel grafico tutti i dati di studio rilevati si ottiene un grafico di questo tipo, con un errore medio di circa 9.200 Kcal ed un intervallo di accettazione di  $\pm 29.313$  Kcal.



**Figura 16:** Grafico Bland-Altman complessivo di tutte le velocità; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.

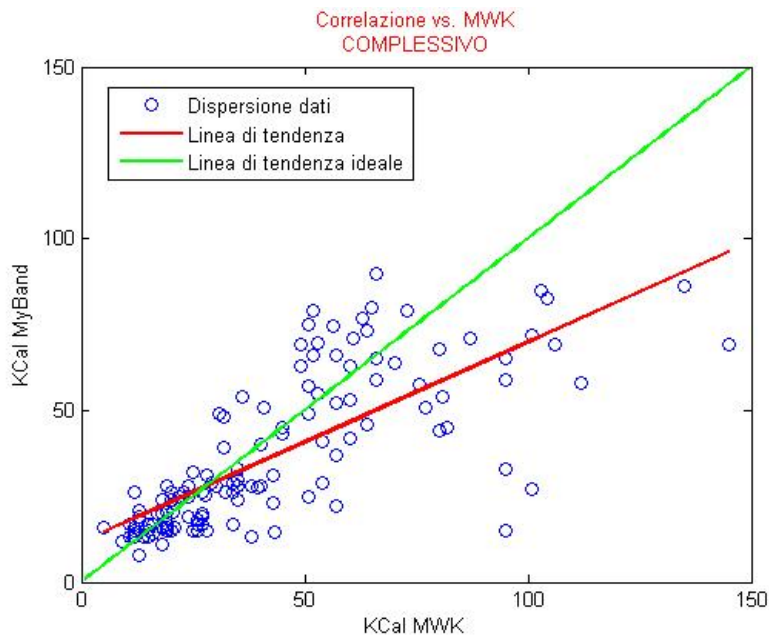
Di seguito è riportata una tabella riassuntiva di tutti i valori medi e rispettive deviazioni standard delle differenze tra consumo calorico rilevato tramite MyBand e tramite metabografo, per meglio sottolineare a livello numerico le correlazioni dei due dispositivi.

	<b>Mean Value</b> (Kcal)	<b>Dev. STD</b> (Kcal)	<b>±1.96*SD</b> (Kcal)
<b>3 Km/h</b>	1.127	4.091	8.020
<b>4.5 Km/h</b>	4.163	4.393	8.610
<b>6 Km/h</b>	11.816	5.927	11.618
<b>8 Km/h</b>	2.575	12.522	30.423
<b>9 Km/h</b>	8.533	15.074	29.545
<b>12 Km/h</b>	32.932	16.938	33.1988

**Tabella 5.** La tabella riporta, per ogni singola velocità, nella prima colonna il valore medio, nella seconda la deviazione standard e nella terza i limiti che si allontanano di un 95% dal valore medio, delle differenze di consumo calorico tra metabografo e MyBand

### *Councurrent Analysis: MyBand vs MWK*

Le stesse analisi sono state fatte correlando il dispositivo con l'activity monitor MyWellness Key. La concurrent analysis permette di determinare se lo strumento da validare è scientificamente vicino ad altri strumenti della sua categoria, già a loro volta validati.



**Figura 17:** rappresenta il grafico di dispersione dei dati di spesa energetica (espressa in Kcal), dove viene descritta la correlazione tra il consumo calorico effettivo rilevato tramite MWK ed il consumo calorico rilevato tramite MyBand. La correlazione reale è descritta dalla linea di tendenza rossa, mentre quella ideale (corrispondente alla bisettrice del quadrante con equazione  $y(x)=x$ ) è descritta dalla linea di colore verde.

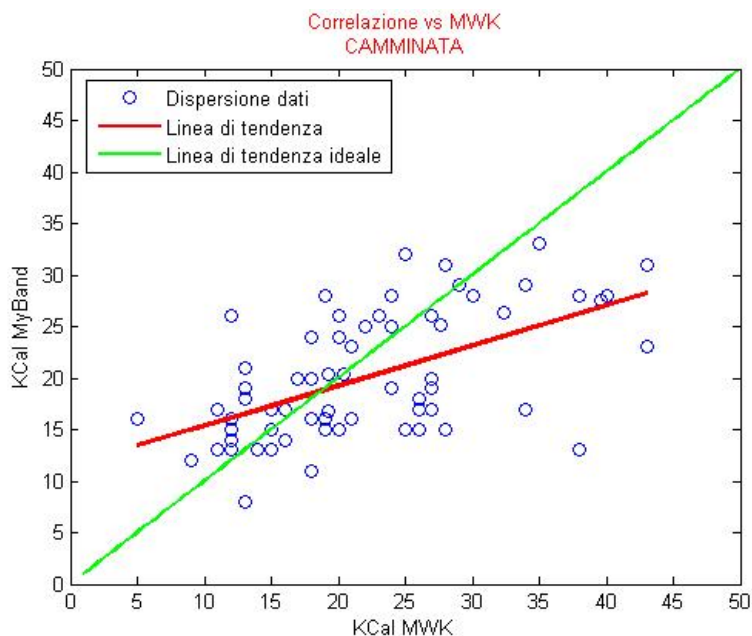
I due strumenti nel complesso presentano questo tipo di correlazione, espressa dalle seguenti caratteristiche:

Sensibilità statica	0.582
Deriva di zero	11.791
Deriva di sensibilità	0.418
Funzione costo	$5.099 \cdot 10^4$
Accuratezza	80.000
R ( $R^2$ )	0.850 (0.723)

**Tabella 6:** caratteristiche di correlazione tra MWK (gold standard) e MyBand (strumento da validare), nel caso complessivo, considerando quindi tutte le velocità di esecuzione del protocollo.

Di seguito di riportano le correlazioni dei due oggetti suddivise nei due differenti andamenti di corsa e camminata. Vengono suddivise nei due casi anche le caratteristiche della linea di tendenza reale.

Nel caso di camminata, si ha un grafico di correlazione di questo tipo:



**Figura 18:** rappresenta il grafico di dispersione dei dati di spesa energetica (Kcal), nello specifico caso di camminata su treadmill (alle velocità di 3 - 4.5 - 6 Km/h), descrivendo la correlazione tra MWK e MyBand. La correlazione reale è descritta dalla linea di tendenza rossa, mentre quella ideale dalla linea di colore verde.

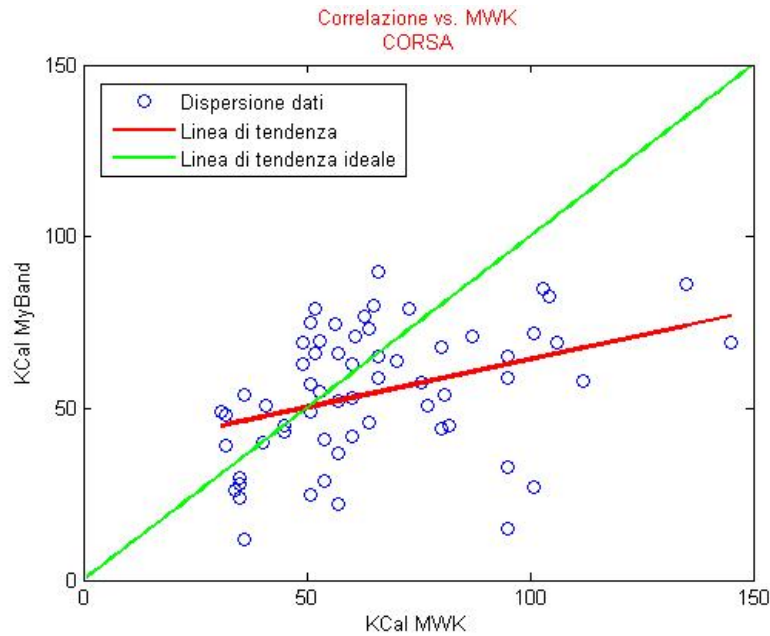
Con le seguenti caratteristiche:

Sensibilità statica	0.389
Deriva di zero	11.500
Deriva di sensibilità	0.611
Funzione costo	$3.475 \cdot 10^3$
Accuratezza	25.000
R ( $R^2$ )	0.556 (0.309)

**Figura 7:** rappresenta il grafico di dispersione dei dati di spesa energetica (Kcal), nello specifico caso di camminata su treadmill (alle velocità di 3 - 4.5 - 6 Km/h), descrivendo la correlazione tra MWK e MyBand. La correlazione reale è

descritta dalla linea di tendenza rossa, mentre quella ideale dalla linea di colore verde.

Mentre nel solo caso di corsa su treadmill, si ha:



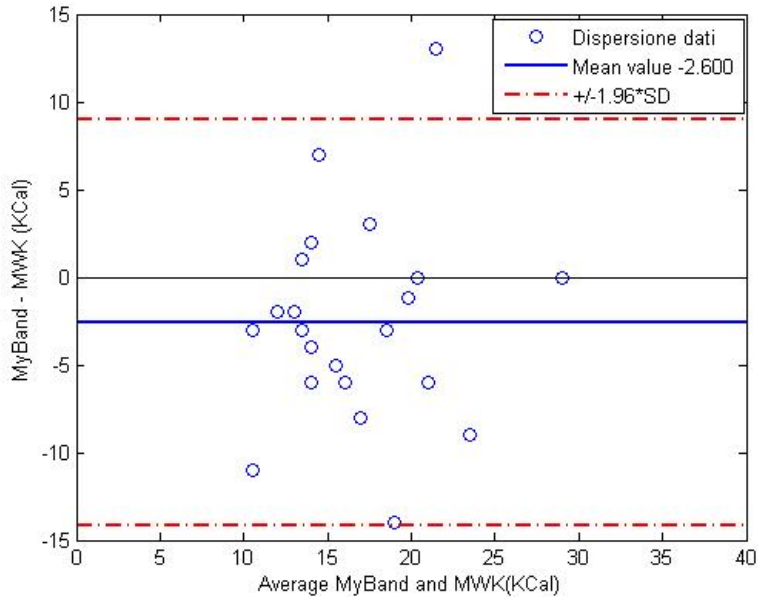
**Figura 19:** rappresenta il grafico di dispersione dei dati di spesa energetica (Kcal), nello specifico caso di camminata su treadmill (alle velocità di 8 – 9 – 12 Km/h), descrivendo la correlazione tra MWK e MyBand. La correlazione reale è descritta dalla linea di tendenza rossa, mentre quella ideale dalla linea di colore verde.

Con le seguenti caratteristiche:

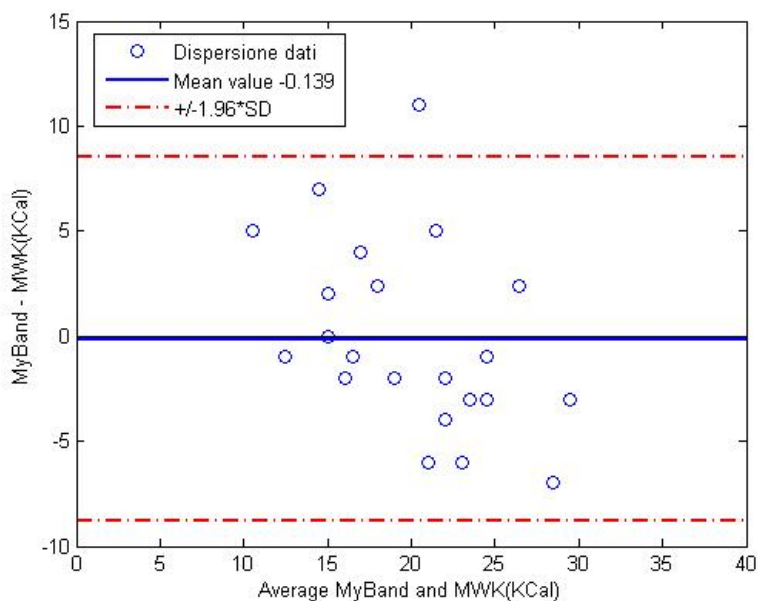
Sensibilità statica	0.281
Deriva di zero	36.325
Deriva di sensibilità	0.719
Funzione costo	$4.691 \cdot 10^4$
Accuratezza	80.000
R ( $R^2$ )	0.380 (0.144)

**Tabella 8:** caratteristiche di correlazione tra metabografo (gold standard) e MyBand (strumento da validare), nel caso specifico di corsa su treadmill, quindi alle velocità di 8 – 9 – 12 Km/h.

Comparando invece i due strumenti separatamente per ciascuna velocità, tramite grafici Bland-Altman, si può meglio individuare le andature alle quali i due dispositivi sono meglio allineati.

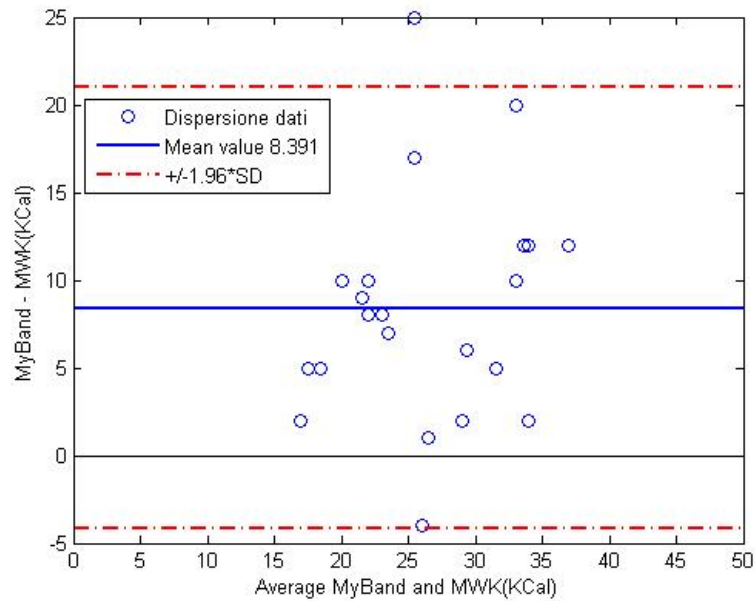


**Figura 20:** Grafico Bland-Altman relativo alla velocità di 3Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e la MWK. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze, mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.

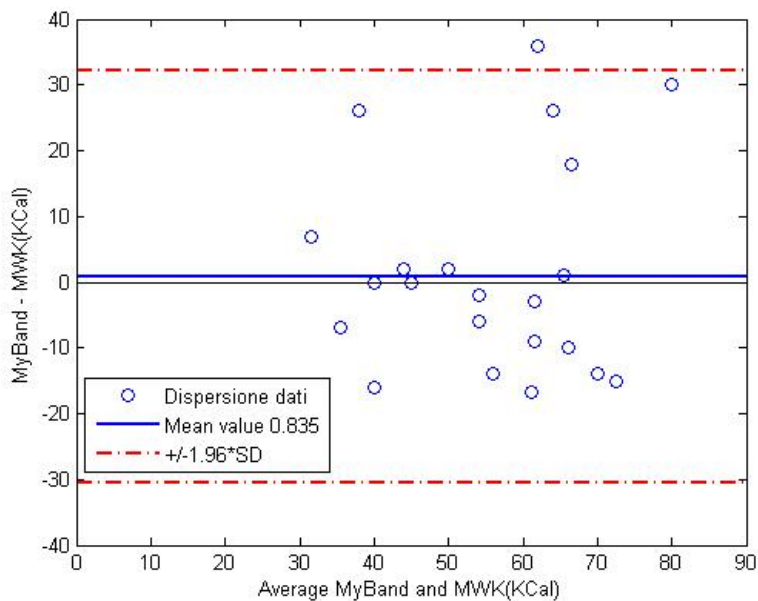


**Figura 21:** Grafico Bland-Altman relativo alla velocità di 4,5Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MWK e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea continua

rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.



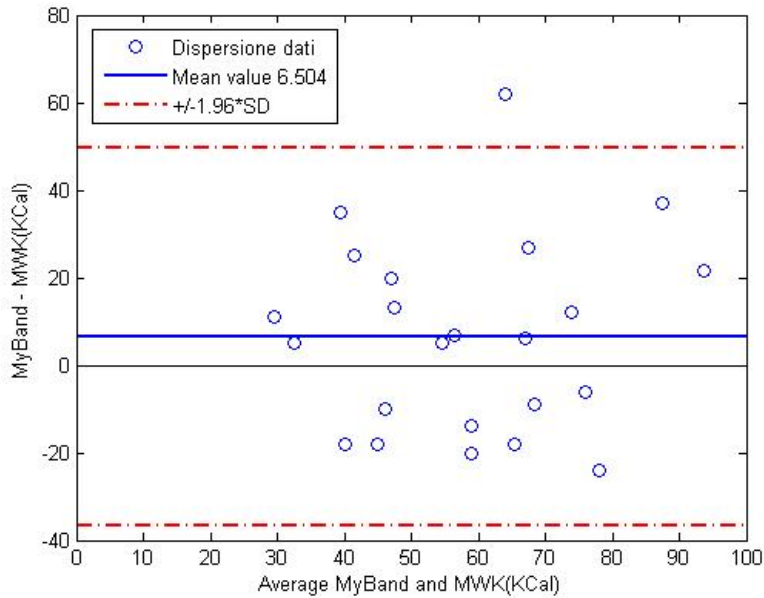
**Figura 22:** Grafico Bland-Altman relativo alla velocità di 6Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e la MWK. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze, mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.



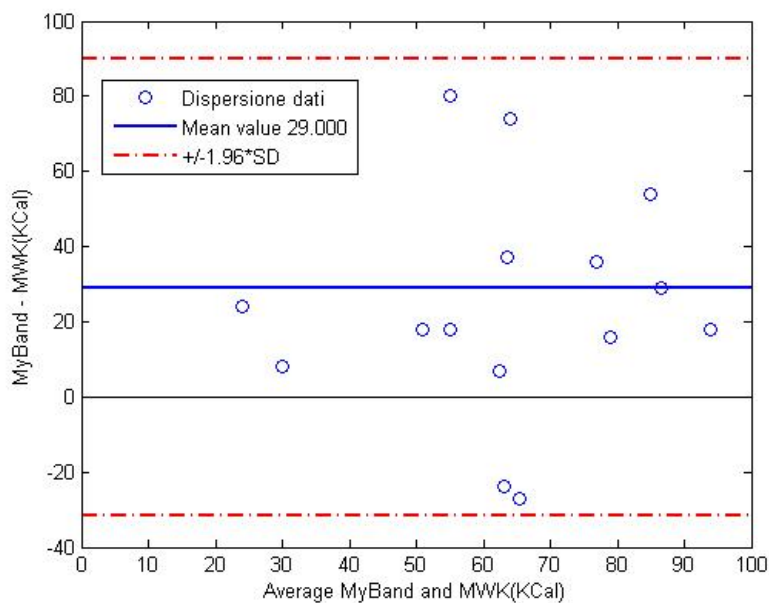
**Figura 23:** Grafico Bland-Altman relativo alla velocità di 8Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e la



MWK. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze, mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.



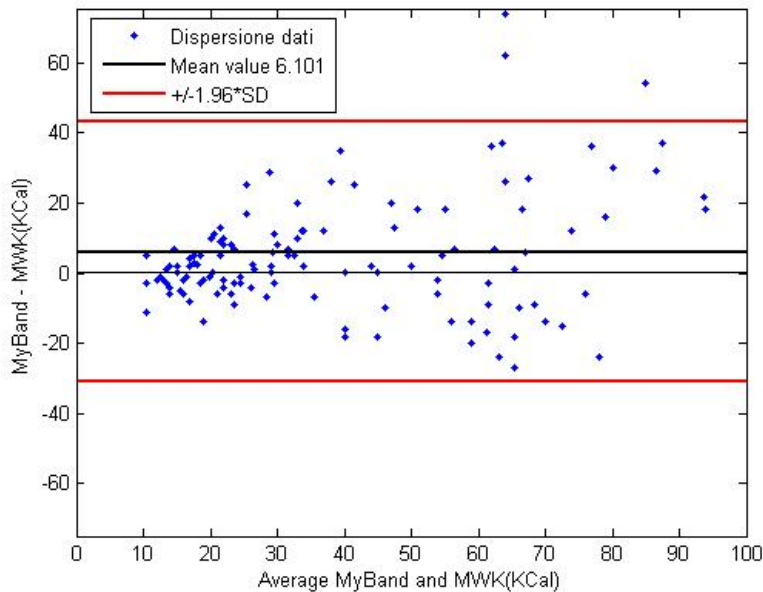
**Figura 24:** Grafico Bland-Altman relativo alla velocità di 9Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e la MWK. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze, mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione



**Figura 25:** Grafico Bland-Altman relativo alla velocità di 12Km/h; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e la

MWK. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze, mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione

Volendo fare una analisi tramite grafici Bland-Altman complessiva, andando quindi ad introdurre nel grafico tutti i dati di studio rilevati si ottiene un grafico di questo tipo, con un errore medio di circa 6.101 Kcal ed un intervallo di accettazione di  $\pm 36.917$  Kcal.



**Figura 26:** Grafico Bland-Altman complessivo di tutte le velocità; rappresenta l'andamento delle differenze nel consumo calorico (Kcal) tra il MyBand e l'effettivo consumo calorico rilevato tramite calorimetria indiretta. La linea continua rappresenta il valore medio delle differenze (Mean Value) mentre le linee tratteggiate corrispondono al  $\pm 95\%$  del limite di accettazione.

Di seguito è riportata una tabella riassuntiva di tutti i valori medi e rispettive deviazioni standard delle differenze tra consumo calorico rilevato tramite MyBand e tramite MWK, con lo scopo di meglio

sottolineare a livello numerico le differenti correlazioni dei due dispositivi alle differenti velocità.

	<b>Mean Value</b> <i>(Kcal)</i>	<b>Dev. STD</b> <i>(Kcal)</i>	<b>±1.96*SD</b> <i>(Kcal)</i>
<b>3 Km/h</b>	-2.60	5.90	11.56
<b>4.5 Km/h</b>	-0.14	4.43	8.68
<b>6 Km/h</b>	8.39	6.42	12.57
<b>8 Km/h</b>	0.83	15.96	31.28
<b>9 Km/h</b>	6.50	21.97	43.05
<b>12 Km/h</b>	29.00	31.02	60.80

**Tabella 9.** La tabella riporta, per ogni singola velocità, nella prima colonna il valore medio, nella seconda la deviazione standard e nella terza i limiti che si allontanano di un 95% dal valore medio, delle differenze di consumo calorico tra MyBand e MWK.



## Discussione

La seguente valutazione vuole trarre delle conclusioni e porre un giudizio di validità e affidabilità sulla scientificità dei dati di consumo calorico, forniti in output dall'activity monitor da polso "MyBand", della "IDT Technology".

Saranno fatte due considerazioni differenti, così com'è avvenuto nella fase di esposizione dei risultati: una per la "criterion validity" ed un'altra per la "concurrent validity".

La prima analisi è stata fatta nei confronti di uno strumento che fornisce una rilevazione dei dati effettiva, poiché utilizza la calorimetria indiretta per calcolare il consumo energetico. Quest'analisi permette di avere dei dati molto precisi ma ha un procedimento di ottenimento dei dati piuttosto complesso e macchinoso tale da poter essere utilizzato solo in laboratorio e non certamente nella vita di tutti i giorni, scopo invece, per cui lo strumento da validare è nato.

La seconda analisi viene fatta nei confronti della MyWellness Key di Technogym. Questo è uno strumento già validato da precedenti ricerche scientifiche, facilmente rintracciabili in letteratura. Permette di fare una analisi con uno strumento, sicuramente meno preciso, rispetto al metabografo, ma più vicino in termini di utilizzo, all'armband che si vuole validare. Permette quindi di determinare se il MyBand è scientificamente vicino ad altri strumenti della sua categoria, già validati a loro volta.

- *Criterion validity.*

Una prima veloce analisi, data dall'immediata visualizzazione del grafico a dispersione, descrivente la correlazione della spesa energetica valutata tramite calorimetria indiretta con quella rilevata tramite myBand, si potrebbe affermare che lo strumento ha un ottimo andamento: la sua linea di tendenza non dista molto dalla linea di tendenza ideale rappresentata dalla funzione  $y(x)=x$  e quindi che nel complesso lo strumento fornisce una buona approssimazione del consumo calorico.

Approfondendo la valutazione, prendendo in considerazione i dati numerici si possono notare degli errori non trascurabili, con un'accuratezza di circa 69 Kcal, tanto da ottenere un coefficiente di determinazione ( $R^2$ ) che non arriva nemmeno al 70%.

Analizzando invece i dati distintamente in camminata ed in corsa, si nota come la situazione non migliori in nessuno dei due casi, anzi le sensibilità statica, e di conseguenza le derivate di sensibilità, di entrambe le andature, aumentino il distacco dalla linea di tendenza ideale; così come aumenta il valore della deriva di zero per entrambe mentre, dati ancora più rilevanti, i coefficienti di determinazione precipitano a 37.3% per la camminata e a 27.1 per la corsa. Questi dati ci dicono che l'algoritmo interno è in grado di compensare tra camminata e corsa gli errori compiuti dalle due andature.

Inoltre osservando i grafici a dispersione si nota come il MyBand si avvicini molto ai valori del metabografo per basse velocità (sia di camminata che di corsa), mentre all'aumentare delle velocità lo strumento tende ad allontanarsi dai valori ideali.

Questo fatto è sottolineato anche dai grafici di Bland-Altman: andano a confrontare i "Mean Value" e le corrispettive deviazioni standard si nota l'andamento descritto sopra: a 3 Km/h ("camminata lenta") e a

8 Km/h ("corsa lenta") è attorno a 1 Kcal e 2 Kcal rispettivamente, valori molto bassi considerando anche il tipo di unità di misura. Salendo con le velocità (4.5 Km/h cioè "camminata normale" e 9 Km/h cioè "corsa normale"), i valori medi e le deviazioni standard della differenza di stima di spesa energetica tra metabografo e MyBand tendono ad aumentare, fino alle andature definite "camminata e corsa veloce" (6Km/h e 12Km/h), dove i valori medi arrivano anche a 28.6 Kcal con una deviazione standard altrettanto elevato, di circa 17 Kcal.

Questa considerazione, può portarci alla possibilità che tra i 6 e gli 8 Km/h l'algoritmo interno al dispositivo vari formula di calcolo del consumo calorico e che entrambe le formule siano ottime per velocità di camminata e corsa piuttosto basse, mentre aumentino la loro imprecisione e quindi diminuiscano la loro validità, all'aumentare delle velocità.

Poiché i "Mean Value" sono tutti positivi e poiché sono determinati dalla differenza:  $Kcal_{metabografo} - Kcal_{MyBand}$ , possiamo affermare che in generale il dispositivo tende a sottostimare a reale spesa energetica.

#### - *Concurrent validity.*

L'analisi di confronto con la MyWellness Key è utile poiché permette di determinare la validità del dispositivo rispetto ad uno strumento, che non è considerato il modello di riferimento, ma che fornisce una buona approssimazione del modello poiché è a sua volta già stato validato; inoltre è molto vicino alle normali condizioni di utilizzo, cioè è a sua volta un activity monitor, quindi uno strumento con caratteristiche molto simili al dispositivo studiato, il che non si può dire della calorimetria indiretta.

Anche in questo caso la linea di tendenza ideale è rappresentata dalla bisettrice, con funzione  $y(x)=x$  dove il valore della  $x$  sono le calorie stimate tramite MWK.

Sia la visualizzazione grafica, che l'analisi più specifica dei dati fanno notare come i due dispositivi siano piuttosto lontani tra loro.

I dati nel loro complesso, infatti, individuano una linea di tendenza con sensibilità statica circa pari a 0.58 ed una accuratezza di 80 Kcal; l'indice di determinazione ( $R^2$ ) invece è circa del 72%.

Andando invece a dividere l'analisi nelle due differenti andature di camminata e corsa, così come nella criterion analysis, i dati peggiorano e gli indici di determinazione toccano valori rispettivamente pari a 30.9% e 14.4%; valori molto prossimi allo 0% che è sintomo di incorrelazione tra i due metodi di misura.

Utilizzando come metodo di analisi i grafici Bland-Altman si nota un andamento molto simile alla "criterion analysis", dove per basse velocità, di corsa e camminata i due strumenti sono abbastanza allineati, mentre per alte velocità, sia di corsa che di camminata, il Mean Value è piuttosto elevato. Da notare però in questo caso come a 8 Km/h, dove il valore medio delle differenze tra i due strumenti è prossimo allo zero, la deviazione standard presenta un valore alto, anche rispetto alle altre deviazioni standard. Questo ci dice che i due dispositivi a tale velocità, pur essendo nella media di tutti i risultati molto allineati tra loro, nella realtà dei fatti presentano delle differenze non trascurabili.

Da notare inoltre come a 12 Km/h i due device siano molto distanti tra loro, con valore medio delle differenze prossimo alle 30 Kcal e una deviazione standard di circa 60. Questo potrebbe far supporre che i dispositivi non sono correlabili ad alte velocità; inoltre tali dati

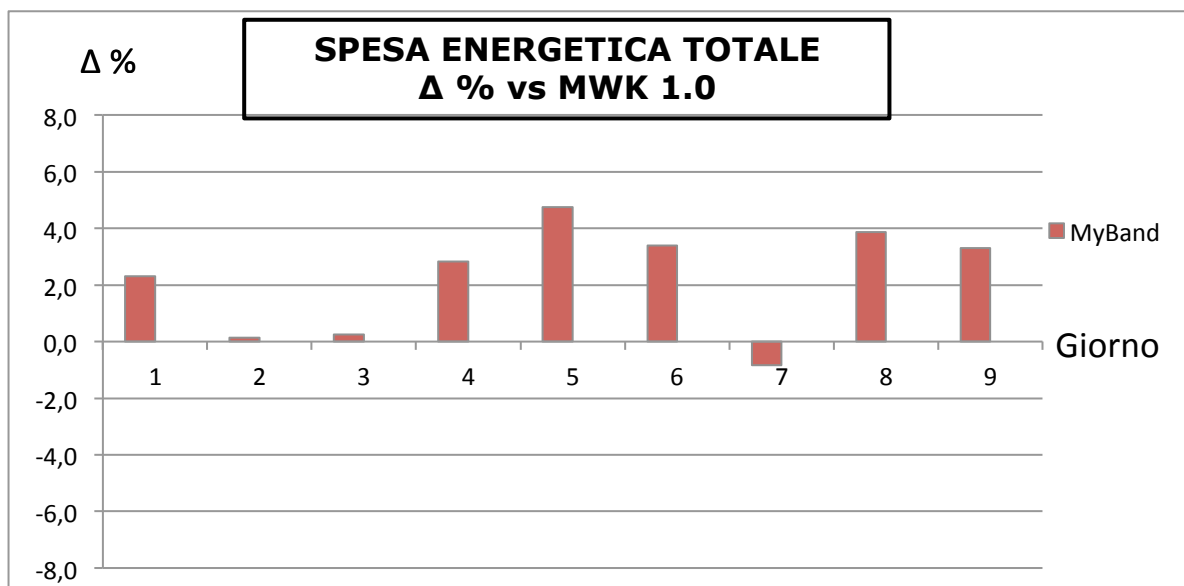


potrebbero essere tolti dall'analisi in quanto viziano notevolmente i risultati nel loro complesso.

I Mean Value presentano valori negativi, ma piuttosto vicini allo zero, per basse velocità (3 e 4.5 Km/h), per cui in questi casi il MyBand sovrastima i valori predetti dalla MWK; mentre presenta valori positivi, ma spesso distanti dallo zero per le restanti velocità (6 - 9 - 12 Km/h, mentre il caso degli 8 Km/h è già stato specificato sopra), per cui in questi il casi il MyBand sottostima i valori predetti dalla MWK.

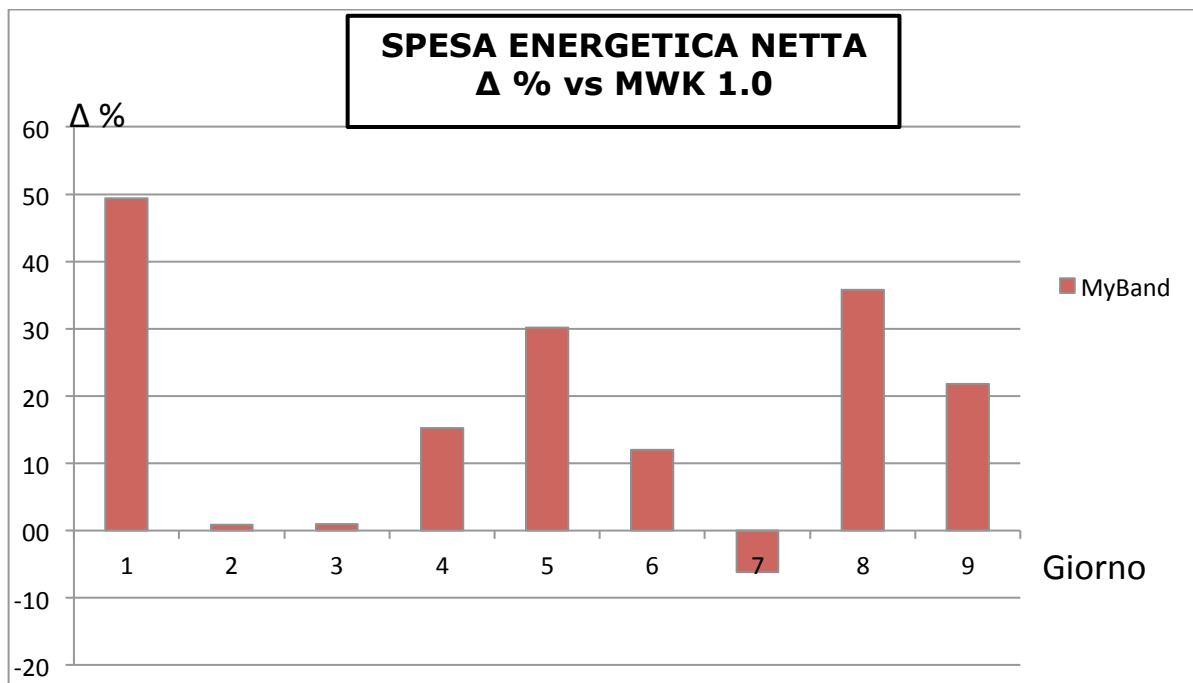
### *-Lifestyle analysis*

Nel periodo di test è stata fatta un'ulteriore analisi, povera di dati, per cui è stato deciso di non inserirla come analisi scientifica, poiché è fatta su un solo soggetto, per una durata di 9 giorni continui. Si è deciso però di inserire alcuni risultati, come semplice analisi statistica.



**Figura n:** il grafico rappresenta lo scostamento percentuale, del device MyBand rispetto la MWK (gold standard), in termini di calorie totali consumate nell'arco della giornata, quindi in un'analisi in lifestyle, comprendente le calorie basali.

Le calorie totali sono calcolate come la somma delle calorie basali e delle calorie nette di attività, cioè quelle individuate dai due dispositivi causa attività motoria. Le calorie basali sono calcolate utilizzando la formula fornita dall'ACSM ( $Kcal = MET * Kg * H$ ), applicando ai MET il corrispettivo valore a riposo ( $MET = 1$ ) e alle ore il valore di una intera giornata (24h appunto).



**Figura n:** rappresenta lo scostamento percentuale, del device MyBand rispetto alla MWK (gold standard), in termini di calorie nette consumate nell'arco della giornata, quindi relative alla sola attività fisica fatta durante la giornata

Come si può notare le calorie basali permettono di diminuire in generale lo scostamento percentuale dei due strumenti tra loro; mentre analizzando i soli dati forniti dai due dispositivi si ottengono anche scostamenti percentuali piuttosto elevati. In generale è possibile affermare che l'activity monitor MyBand sovrastima la MWK.

Si vuole però ricordare però la poca scientificità di tali dati, che sono quindi stati inseriti come sola e limitata analisi statistica.

## Conclusioni

L'obiettivo per cui nascono questo genere di dispositivi è di aumentare il livello di benessere di coloro che li indossano, inteso come sano stile di vita, caratterizzato da una frequente attività motoria. Un vero e proprio "compagno" con cui fare del movimento, mangiare, dormire, ecc... che sappia magari anche motivare per fare sempre meglio. Dietro questo aspetto, puramente psicologico, nasce un problema di scientificità dell'informazione, che questi forniscono.

Lo studio che è stato fatto sul dispositivo MyBand, della IDT Technology, ha permesso di ben inquadrare tale problematica, in riferimento a tale oggetto. Una prima criterion analysis ha subito segnalato come il dispositivo fornisse in uscita un dato caratterizzato da un errore troppo elevato e poco accettabile, rispetto ad una strumentazione che, invece, permette di avere un dato scientificamente molto preciso. Questo nonostante il fatto che i dati rientrassero sempre all'interno di un range di scostamento percentuale accettabile per una analisi fatta tramite grafici Bland-Altman. La seconda analisi, che lo confronta con la MyWellness Key, anziché diminuire il distacco dei valori di consumo calorico, ha sottolineato nuovamente l'imprecisione del dato fornito in uscita.

Per approfondire la provenienza di tali errori, sarebbe necessario conoscere l'algoritmo che è stato implementato internamente al dispositivo. Questi sarebbero ulteriori studi, che permetterebbero di ricercare delle soluzioni di implementazione (hardware e software), per allineare lo strumento, per lo meno con gli altri device presenti sul mercato.



## Letteratura

- S. D. Hermann, T. L. Hart, C. D. Lee, B. E. Ainsworth. Evaluation of the MyWellness Key accelerometer. *British Journal of Sports Medicine*. June 2010.
- M. Bergamin, A. Ermolano, J. C. Sieverdes, M. Zaccaria, S. Zanuso. Validation of the MyWellness Key in walking and running speeds. *Journal of Sports Science and Medicine* (2012) 11, 57-63.
- F.E. Horner, M.P. Rayson, J.K.J. Bilzon. Reliability and validity of the 3DNX accelerometer during mechanical and human treadmill exercise testing. *International Journal of Obesity* (2011); 35, S88-S97
- S.M. Sloopmaker, M.J.M. Chin A Paw, A.J. Schuit, W. Van Mechelen, L.L.J. Koppes. Concurrent validity of the PAM accelerometer relative to the MTI Actigraph using oxygen consumption as a reference. *Scandinavian journal of Medicine & Science in Sport*. 2009; 19: 36-43.
- J. E. Sasaki, D. John, P. S. Freedson. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 14 (2011): 411-416
- K. Lyden, S.L. Kozey, J.W. Staudenmeyer, P. S. Freedson. A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations. *NIH*
- S. Yang, C. Mohr, Q. Li. Ambulatory running speed estimation using an inertial sensor. *Gait and Posture*, 34 (2011) 462-466.
- P. Freedson, S. Pober, K. F. Janz. Calibration of accelerometer output for children. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 0195-1931/05/3711 (Suppl)-S523/0.

- M. Bergamin, E. E. Wickel, G. A. Hand, J. C. Sieverdes, S. Zanuso, R. R. Moran. Reliability and validity of the MyWellness Key physical activity monitor. *Clinical epidemiology* 2013: 5 13-20
- S. G. Trost, P. D. Loprinzi, R. Moore, K. A. Pfeiffer. Comparison of accelerometer cut points for predicting activity intensity in youth. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 0195-1931/11/4307-1360/0.
- H. Vathsangam, A. Emken, E. T. Schroeder, D. Spruijt-Metz. Determining energy expenditure from treadmill walking using hip-worn inertial sensors: an experimental study. *IEEE*, Vol 10, June 2011.
- J. Dines, B. Tyo, D.R. Bassett. Comparison of four ActiGraph accelerometers during walking and running. *NIH – Medicine & Science in Sports & Exercise*, February 2011.
- R. C. Colley, M. S. Tremblat. Moderate and vigorous physical activity intensity cut-points for the Actical accelerometer. *Journal of Sports Sciences*, May 2011, 29(8): 1783-789
- S. A. Kavouras, s. E. Sarras, Y. E. Tsekouras, L. S. Sidossis. Assessment of energy expenditure in children using the RT3 accelerometer. *Journal of Sports Sciences*. July 2008, 26(9): 959-966
- J. Vanhelst, D. Theunyunck, F. Gottrand, L. Beghin. Reliability of the RT3 accelerometer for measurement of physical activity in adolescent. *Journal of sports Sciences*. February 2010, 28(4), 375-379
- D. M. Harrington, G.J. Welk, A. E. Donnelly. Validation of MET estimates and step measurement using the ActivPAL physical activity logger. *Journal of Sports Sciences*. March 2011, 29(6): 627-633.
- T. Tanha, A. B. Tornberg, P. Wollmer, M. Dencker. Head-to-head comparison between Actigraph 7164 and GT1M accelerometers in

- adolescents. *Scandinavian Society of Clinical Physiology and Nuclear Medicine* 33, 2, 162-165.
- E. Aadland, S. A. Anderssen. Treadmill calibration of the Actigraph GT1M in young to middle aged obese to severely obese subjects. *Journal of Obesity*, vol. 2012 Article ID 318176.
  - J. Ryan, J. Gormley. An evaluation of energy expenditure estimation by three activity monitors. *European Journal of Sports Science*, 2013.
  - Ka-Tiu Lee, D. J. Macfarlane, E. Cerin. Comparison of three models of actigraph accelerometers during free living and controlled laboratory conditions. *European Journal of Sports Sciences*, 2013.
  - N. A. Silcott, D.R. Bassett, D. L. Thompson, E. C. Fitzhugh, J. A. Steeves. Evaluation of the Omron HJ-720ITC Pedometer under Free-Living Conditions. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 0195-9131/11/4309-1791/0.
  - M. Reneman, M. Helmus. Interinstrument reliability of the RT3 accelerometer. *International Journal of Rehabilitation Research* 2010, 33: 178-179
  - L. Atallah, A. Wiik, G. G. Jones, B. Jo, J. P. Cobb, A. Amis, G. Z. Yang. Validation of an ear-worn sensor for gait monitoring using a force-plate instrumented treadmill. *Gait & Posture* (2012) 35: 674-676.
  - Y. Feito, D. R. Bassett, D. L. Thompson. Evaluation of activity monitors in controlled and free-living environments. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 0195-9131/12/4404-0733/0.
  - A. M. Swartz, S. J. Strath, N. E. Miller, E. K. Grimm, L. A. Ewalt, M. S. Loy, K. P. Gennuso. Validation of physical activity monitors in assessing energy expenditure in normal, overweight and obese adults. *Open Sports Sciences Journal* (2009), 2: 8-64.





## Bibliografia

- "Strumentazione biomedica, progetto ed impiego dei sistemi di misura", Guido Avanzolini, Editore Patron.
- "Strumenti e metodi di misura", E. Doebelin, editore Mc Graw-Hill.
- "Lezioni di comunicazioni elettriche", Calandrino, Chiani, Pitagora Editore – Bologna 2004.
- "Advanced fitness assessment & exercise prescription", Vivian H. Heyward, Human Kinetics Editors.
- "Linee guida per i test e la prescrizione d'esercizi", ACSM (American College of Sports Medicine), CLUEB, Bologna 2004.
- "Biomeccanica degli esercizi fisica", A. Stecchi, Editrice Erika.
- "Three-dimensional analysis of human movement", P. Allard, I. A. F. Stokes, J.P. Bianchi, Human Kinetics Editors.
- "Preparing for the ACSM Health/Fitness instructor Certification", L. D. Isaacs, R. Pohlman, Human Kinetics Editors.
- "Quark b<sup>2</sup>, cardiopulmonary exercise testing system, User Manual"



## Ringraziamenti

*A conclusione di questa parte del mio percorso di studi, sento di dover ringraziare, coloro che mi hanno accompagnato in questi anni.*

*Il primo pensiero va sicuramente alla mia famiglia che mi ha incoraggiato continuamente e non si è tirata indietro davanti a necessari sacrifici, per permettermi di studiare.*

*Desidero poi ringraziare la Prof.ssa Rita Stagni per le preziose indicazioni, fondamentali nella fase di test, prima, e di stesura, poi, di questa tesi. Accanto a lei, devo ringraziare tutto il "Dipartimento di Ricerca Scientifica" di Technogym, per la grande opportunità che mi ha voluto dare; in particolare il Ph.D. Silvano Zanuso, con tutto il suo affascinante bagaglio culturale, e l'Ing. Giuseppe Fedele che ha curato con grande dedizione e cuore, come solo lui sa fare, tutto il mio percorso all'interno dell'azienda.*

*Un ringraziamento a tutti gli amici che hanno accettato di dedicarmi un po' del loro tempo come tester per questo studio. Dei saluti speciali ai miei compagni dell'università, per il forte legame che si è creato, in particolare a Giulia Ortolani, fidata ed empatica compagna di studi.*

*Un ultimo ringraziamento, non a caso, va alla comunità "Sefiroth" e ai progetti "Shekinah", linfa essenziale nel mio cammino di vita.*

Alberto