



RAPPORTI ISTISAN 17|30

ISSN: 1123-3117 (cartaceo) • 2384-8936 (online)

Cammino e salute: stato dell'arte, proposte innovative e integrazione nell'*e-health*

A cura di
D. Giansanti



TECNOLOGIE
E SALUTE

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

**Cammino e salute:
stato dell'arte, proposte innovative
e integrazione nell'*e-health***

A cura di
Daniele Giansanti

Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica

ISSN: 1123-3117 (cartaceo) • 2384-8936 (online)

Rapporti ISTISAN
17/30

Istituto Superiore di Sanità

Cammino e salute: stato dell'arte, proposte innovative e integrazione nell'e-health.

A cura di Daniele Giansanti

2017, 49 p. Rapporti ISTISAN 17/30

Il rapporto si focalizza sull'importanza dei test del cammino in biomedicina. In primo luogo affronta sia uno studio di revisione sui test del cammino maggiormente utilizzati, riportando per ognuno le equazioni per il calcolo del massimo consumo di ossigeno, sia un'analisi critica degli indici maggiormente utilizzati per la valutazione del consumo metabolico per la valutazione dell'attività fisica. In secondo luogo illustra le nuove metodiche sviluppate attorno al conteggio dei passi e ai test del cammino. In terzo luogo sono affrontate tre problematiche emergenti: le applicazioni per il monitoraggio accessibili da *smartphone*; l'utilizzo della *animal assisted therapy*; la realizzazione di protesi degli arti inferiori per *fashion rehabilitation therapy*.

Parole chiave: Test del cammino; Analisi del movimento; Consumo metabolico

Istituto Superiore di Sanità

Walking and health: state of the art, innovative proposals and integration into the e-health.

Edited by Daniele Giansanti

2016, 49 p. Rapporti ISTISAN 17/30 (in Italian)

This report focuses on the importance of the walking tests in Biomedicine. Firstly, it presents a review on the most used walking tests, indicating for each one the equations for calculating the maximum consumption of oxygen and also presents a critical analysis of the indexes most widely used for assessing the metabolic consumption, for the assessment of the physical activity. Secondly it explains the new methods developed for the step counting and for the monitoring of the walking tests. Thirdly it faces three new fields: the applications in the *smartphone*; the impact of the animal assisted therapy; the development of new innovative prosthesis for the fashion rehabilitation therapy.

Key words: Walking Test; Motion analysis; Metabolic consumption

Per informazioni su questo documento scrivere a: daniele.giansanti@iss.it

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it.

Citare questo documento come segue:

Giansanti D (Ed.). *Cammino e salute: stato dell'arte, proposte innovative e integrazione nell'e-health*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2017. (Rapporti ISTISAN 17/30).

Legale rappresentante dell'Istituto Superiore di Sanità: *Gualtiero Ricciardi*

Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 114 (cartaceo) e n. 115 (online) del 16 maggio 2014

Direttore responsabile della serie: *Paola De Castro*

Redazione: *Paola De Castro* e *Sandra Salinetti*

La responsabilità dei dati scientifici e tecnici è dei singoli autori, che dichiarano di non avere conflitti di interesse.



INDICE

Introduzione

Daniele Giansanti, Mauro Grigioni 1

Capitolo 1

Test del cammino: un'analisi dello stato dell'arte

Daniele Giansanti, Luana Bottini, Alberto Boschetto, Giovanni Maccioni..... 4

Capitolo 2

Indici del consumo metabolico

Daniele Giansanti, Donatella Isopi, Luana Bottini, Alberto Boschetto..... 12

Capitolo 3

Contapassi e disabilità

Giovanni Maccioni, Daniele Giansanti 19

Capitolo 4

Test del cammino e *animal assisted therapy*: nuovi modelli

Daniele Giansanti, Giovanni Maccioni, Mauro Grigioni..... 26

Capitolo 5

Protesi di arto inferiore: nuovi modelli per *fashion rehabilitation therapy*

Daniele Giansanti, Roberta Maurelli 31

Capitolo 6

Verso la progettazione di strumenti automatici per il monitoraggio del cammino

Daniele Giansanti, Giovanni Maccioni, Sandra Morelli, Mauro Grigioni 36

Capitolo 7

Applicazioni per il monitoraggio del cammino sullo *smartphone*: tendenze emergenti

Daniele Giansanti, Moira Costantini, Maria Rosaria Giovagnoli, Giovanni Maccioni, Mauro Grigioni 44

Conclusioni

Daniele Giansanti, Mauro Grigioni 48

INTRODUZIONE

Daniele Giansanti, Mauro Grigioni

Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Il cammino è un'attività motoria, costituita da una serie ripetitiva di movimenti ritmici e alternati di tutto il corpo. È tradizionalmente considerato come un compito motorio automatico che richiede in parte l'intervento delle più alte funzioni mentali. Il normale cammino richiede una pianificazione strategica per scegliere il percorso migliore e una continua interazione tra l'ambiente e i fattori esterni; questo consiste in 3 componenti principali: locomozione, equilibrio e abilità di adattamento alle condizioni ambientali. Una disfunzione di uno di questi porta a un disturbo del cammino.

Il ciclo del passo è composto da due fasi:

- Fase di appoggio (o *stance phase*);
- Fase di oscillazione (o *swing phase*).

Durante la deambulazione normale, la fase 1 è più lunga della fase 2, in particolare la fase 1 corrisponde a circa il 60 % della deambulazione e la fase 2 a circa il 40%.

La sicurezza e l'efficacia di un buon cammino, non si basa solo sul sistema senso-motorio, ma anche sull'integrazione tra: controllo esecutivo, sistema cognitivo e dimensione effettiva; questa integrazione avviene per esempio quando una persona camminando, svolge una o più compiti. I disordini del cammino sono generalmente più frequenti nella popolazione anziana. Avanzando con l'età aumentano le cadute, c'è una riduzione della mobilità e una maggiore paura di cadere. Una caratteristica comune negli anziani è il cammino lento e cauto. Recenti studi hanno affermato che fino al 20% della popolazione anziana cammina normalmente, e di conseguenza chi ha un problema nella deambulazione ha sicuramente una malattia di base.

Il cammino contribuisce al miglioramento della salute aumentando, di conseguenza, la sensazione di benessere. Migliora la funzionalità cardiaca, protegge da numerose malattie incidendo su diversi fattori di rischio quali:

- pressione arteriosa;
- dislipidemie (cioè eccesso di grasso nel sangue);
- sovrappeso;
- sedentarismo.

Inoltre ha anche una notevole influenza sulla prevenzione di diverse malattie, quali:

- diabete tipo II;
- osteoporosi;
- diversi tipi di cancro;
- depressione;
- aterosclerosi.

È ampiamente diffuso il concetto che occorre camminare almeno 4 volte alla settimana, essere progressivi nella pratica, camminare a passo svelto, usare sempre un'andatura regolare.

L'attività fisica praticata regolarmente incide in modo significativo sulla qualità della vita, migliorando lo stato di salute e riducendo il rischio di mortalità generale.

In diverse città sono stati organizzati dei "gruppi di cammino", cioè un'attività organizzata nella quale un gruppo di persone si ritrova 2-3 volte a settimana per camminare. Questi oltre ad essere facilmente organizzabili e praticabili, sono molto utili per far svolgere una piccola attività fisica alle persone più sedentarie, in quanto associano il movimento allo stare insieme.

Nell'ultimo mezzo secolo si sono andati diffondendo numerosi test del cammino. Inizialmente erano stati utilizzati con l'intenzione di valutare la forma fisica, in particolare degli Astronauti durante le prime pionieristiche missioni spaziali (Mercury e Apollo). Successivamente si sono affermati sia nella medicina dello sport che nella riabilitazione cardiologica, neurologica e polmonare sia come metodica di valutazione della forma fisica che di diagnosi vera e propria. Tale metodica si è pertanto oggi molto affermata in moltissimi settori medici, dalla riabilitazione post-infarto e/o ictus e/o della broncopneumopatia ostruttiva cronica (BPCO).

Il rapporto è focalizzato su studi condotti nell'ambito di una linea di ricerca interna all'Istituto Superiore di Sanità (ISS) "Sviluppo e applicazione di metodologie strumentali per l'analisi del movimento in clinica 2012-2015" e del corrente piano triennale. Tali studi hanno previsto anche lo sviluppo di tesi in collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dell'Università "Sapienza" di Roma come ad esempio nel caso dei contenuti dei primi due capitoli o della Facoltà di Medicina e Psicologia come nel caso dei contenuti dell'ultimo capitolo.

Da un punto di vista generale il lavoro affronta le problematiche relative allo sviluppo di nuove metodiche per il monitoraggio del cammino.

In considerazione dell'importanza del cammino e dei test correlati, questo rapporto ha affrontato i seguenti aspetti:

- revisione della letteratura relativo ai test del cammino maggiormente utilizzati, riportando per ognuno le equazioni per il calcolo del massimo consumo di ossigeno.
- analisi dei più importanti indici utilizzati per la valutazione del consumo metabolico.
- analisi dei contapassi innovativi sviluppati nel Dipartimento di Tecnologie e Salute assieme ad un'analisi delle nuove metodiche di monitoraggio automatico di alcuni test del cammino.
- analisi dell'impatto dell'*animal assisted therapy* nel cammino.
- nuove protesi originali per il cammino dall'estetica innovativa.
- approfondimento delle nuove problematiche emergenti dall'uso di applicazioni per gli *smartphone* specifiche per il monitoraggio del cammino.

In dettaglio il lavoro è strutturato come di seguito riportato.

Nel Capitolo 1 è riportata una revisione dei test del cammino più comunemente utilizzati e, laddove applicabile, sono state riportate anche le equazioni sviluppate per la determinazione del massimo consumo di ossigeno. Sono stati pertanto analizzati i seguenti test del cammino:

1. Test del miglio;
2. Test di Cooper;
3. Test dei 6 minuti;
4. Test di Bruce;
5. Test di Balke.

Sono stati dati anche dei cenni in relazione alle metodiche per la determinazione delle soglie anaerobiche che nel caso del metodo di Conconi possono prevedere anche l'utilizzo di task che possono comprendere la corsa o cammino.

Il Capitolo 2 affronta l'importanza degli indici del consumo metabolico. Le metodologie riportate nella sezione precedente, permettono di valutare quale è lo stato di forma fisica di un individuo in relazione alle prestazioni di quest'ultimo nello svolgimento di un preciso test fisico. Tali test, si soffermano principalmente sulla stima della massima quantità di ossigeno consumata dal soggetto e in relazione ad essa, valutano quale sia il suo stato di forma fisica. Per valutare, invece, la quantità di attività fisica svolta da un individuo si può far riferimento anche ad altre metodologie, che permettono, tramite la stima di diversi indici, di valutare la quantità di energia che verrà consumata dall'organismo in relazione allo svolgimento di specifiche attività.

Il Capitolo 3 affronta il problema del monitoraggio dei passi attraverso l'uso di contapassi evidenziando i limiti dei contapassi commerciali nel monitoraggio di soggetti con particolari

disabilità motorie causate ad esempio dal Parkinson e/o dall'ictus. Tale capitolo affronta poi lo sviluppo di due contapassi innovativi orientati al monitoraggio di soggetti con disabilità: il primo si basa sul monitoraggio delle espansioni del muscolo del polpaccio; *gastrocnemius expansion measurement unit* (GEMU); il secondo si basa su un kit integrabile con le ortesi talizzanti (sia commerciali sia progettate nei laboratori di tecniche ortopediche tipo la Molla di Codivilla) per il monitoraggio del passo. Tale contapassi è stato denominato *Sensorized Codivilla Spring* (SECOSP).

I Capitoli 4 e 5 si focalizzano su due aspetti pionieristici nelle metodiche del cammino: a) L'introduzione dell'*animal assisted therapy* come supporto nel cammino e b) la realizzazione di protesi di arto inferiore originali, dall'estetica innovativa e adatte sia al cammino che alle sfilate di moda, che in inglese sono chiamate protesi per *fashion rehabilitation therapy*. Per quanto riguarda l'*animal assisted therapy* è stato proposto un kit innovativo per il monitoraggio sia del cammino umano che animale. Per quanto riguarda le protesi innovative per *fashion rehabilitation therapy*, sono stati presentati due progetti rilevanti visibili in rete ed è stata riportata realizzazione di una particolare protesi.

Il *Capitolo 6* illustra l'importanza dell'esecuzione dei test del cammino nella modalità da campo (e non pertanto tramite l'utilizzo del tapis roulant) e presenta un kit nelle sue componenti hardware e software per il monitoraggio automatico di due test del cammino (test del miglio e dei 6 minuti) nelle due modalità da campo. Tale kit nel suo insieme permette l'esecuzione del test in modalità da campo in qualsiasi luogo, abitazione palestra, cortile grazie a dei componenti meccatronici posizionabili in modo parametrico e un software automatico che al termine delle prove restituisce un file testuale (ASCII) esportabile e/o condivisibile in rete.

Non poteva mancare uno sguardo alle applicazioni per lo *smartphone* proposte per il monitoraggio del cammino. Il *Capitolo 7* illustra mediante una breve analisi (che non vuole essere un *bench-mark*) le caratteristiche emergenti e le nuove problematiche di queste applicazioni, evidenziando come, se è vero che queste, da un lato sono applicazioni per il fitness (e non pertanto dispositivi medici) dall'altro la loro facile fruibilità pone delle questioni rilevanti agli stakeholder sul rischio di un utilizzo non corretto come ad esempio nella riabilitazione cardiologica o post-ictus.

Capitolo 1

TEST DEL CAMMINO: UN'ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE

Daniele Giansanti (a), Luana Bottini (b), Alberto Boschetto (b), Giovanni Maccioni (a)
(a) *Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma*
(b) *Università Sapienza, Facoltà di Ingegneria, Roma*

Introduzione

I test del cammino sono test utilizzati per verificare quale è lo stato di forma fisica del soggetto che si sottopone ad essi, in relazione a differenti parametri che vengono misurati durante la loro esecuzione. Tali test, vengono utilizzati principalmente in due ambiti, quello sportivo e quello medico. Nell'ambito sportivo, sono applicati su soggetti sani e vengono usati per monitorare periodicamente lo stato di forma fisica dell'atleta e i risultati dei programmi di allenamento a cui questo è sottoposto, nonché per l'individuazione di elementi utili per gli allenamenti. Nell'ambito medico invece, vanno a valutare lo stato di salute del paziente, come questo risponde alle cure riabilitative prescritte e l'efficacia delle cure stesse. I test possono essere eseguiti sia all'aperto che in laboratorio. La scelta del luogo di esecuzione dipende dall'obiettivo del test, dalle strumentazioni richieste e dall'accuratezza e precisione dei dati che si vogliono misurare. Esistono in letteratura tantissimi test che possono essere utilizzati per gli scopi sopra descritti; nel capitolo vengono riportati i principali, insieme ai relativi protocolli da seguire per la loro realizzazione e ad eventuali studi condotti in merito ad essi e alla loro validità.

Il massimo consumo di ossigeno (VO_2max) è un parametro di grande importanza nella valutazione delle condizioni fisiche di un individuo. Esso esprime la massima capacità aerobica del soggetto, ovvero la massima quantità di ossigeno che può essere utilizzata nell'unità di tempo da un individuo nel corso di una attività fisica che coinvolge grandi gruppi muscolari, di intensità progressivamente crescente e protratta fino all'esaurimento. Può essere espresso in maniera assoluta (L/min) o in relazione al peso corporeo (mL/kg/min).

Secondo alcuni autori (1), tale parametro dà il massimo consumo di ossigeno è una misura globale e integrata della massima intensità di esercizio che un soggetto può tollerare per periodi di tempo abbastanza lunghi. Secondo tali studiosi inoltre, il VO_2max può essere sostenuto al massimo per una decina di minuti. Tuttavia, poiché il tempo di esaurimento è funzione della frazione di VO_2max effettivamente utilizzata, soggetti dotati di un alto valore di tale parametro sono in grado di sostenere, a parità di tempo, esercizi di intensità più elevata, o a pari intensità esercizi di più lunga durata, rispetto a soggetti caratterizzati da VO_2max inferiori.

Il VO_2max pur dipendendo da caratteristiche genetiche può essere migliorato fino al 25%. Esso può essere misurato attraverso:

- *Metodi diretti*

che utilizzano sofisticate e costose apparecchiature, monitorando costantemente il consumo di ossigeno e la produzione di anidride carbonica. Tali metodi applicano dei protocolli massimali a carico incrementale che andranno portati avanti fino al completo esaurimento del soggetto. Ci sono vari protocolli che si possono utilizzare, questi si differenziano per il carico utilizzato ad ogni incremento, per gli intervalli di incremento (ad intervalli regolari

oppure continuo) e per l'ergometro su cui si svolge il test. Si tratta di test molto impegnativi per il soggetto, che necessitano di un certo grado di allenamento e soprattutto di un laboratorio attrezzato e di personale medico specializzato.

– *Metodi indiretti*

Data la difficoltà di applicazione delle metodiche dirette e gli elevati costi, sono state sviluppati nel tempo, numerosi metodi indiretti attuabili con maggior facilità e che permettono di ottenere stime accurate del massimo consumo di ossigeno utilizzando differenti parametri facilmente misurabili. Tali metodi indiretti si dividono in metodi massimali e submassimali. I primi, ossia i metodi massimali prevedono una prova fisica che porta il soggetto ad un livello di intensità lavorativa massimale, dove la fatica e la comparsa di sintomi impediscono un ulteriore incremento di intensità. In genere questo tipo di test non è indicato per soggetti sedentari, anziani o che presentano patologie importanti. I parametri misurati nel test vengono poi inseriti in opportune formule per calcolare il $VO_2\max$. Essendo una metodologia indiretta, la stima comporterà comunque una minima percentuale di errore (più bassa rispetto i metodi submassimali). I metodi indiretti submassimali invece, sono facilmente attuabili e non necessitano di particolari strutture e apparecchiature. Prevedono che il soggetto esegua una prova fino al raggiungimento di una predeterminata intensità di esercizio. Per le loro caratteristiche sono adatti ad essere usati su un gran numero di persone, anche su anziani, bambini, sedentari e persone malate. Alcuni test del cammino permettono una misura come metodo massimale e submassimale e pertanto permettono una pratica soluzione per la stima del parametro massimo consumo di ossigeno.

Test del cammino maggiormente usati

Test del miglio

Il test del miglio (2), conosciuto anche con il nome di *Rockport test*, è un test submassimale impiegato per misurare in maniera indiretta il massimo consumo di ossigeno ($VO_2\max$) durante l'esercizio fisico. Il test è semplice da eseguire, pratico e non richiede strumentazioni sofisticate. Consiste nel far camminare, alla maggior velocità possibile, il soggetto che si sottopone al test per un miglio (1609 metri), con lo scopo di misurare il tempo che questo impiega a compiere il percorso e la sua frequenza cardiaca alla fine dell'esercizio. Tali dati verranno quindi inseriti in una opportuna equazione per stimare il $VO_2\max$. Il confronto del valore di $VO_2\max$ ottenuto, con i valori riportati in tabelle, ci permette inoltre di ottenere un giudizio qualitativo sullo stato di forma fisica del soggetto.

Secondo *The American College of Sports Medicine* non è necessario effettuare esami medici prima di eseguire il test per soggetti adulti in buone condizioni di salute. Nel caso in cui il soggetto sia affetto da qualche patologia è bene rivolgersi ad un medico prima di sottoporsi al test. Essendo il test semplice da eseguire e non richiedendo l'obbligo di corsa (si può eseguire anche camminando alla maggior velocità possibile) è adatto anche per soggetti sedentari, anziani o che presentano una qualche patologia (in questo ultimo caso è opportuna la presenza di un medico durante l'esecuzione del test).

Il $VO_2\max$, espresso in $mL \times kg^{-1} \times min^{-1}$, è ottenuto dalla seguente equazione:

$$VO_2\max = 132,853 - (0,1696 \times \text{Peso}) - (0,3877 \times \text{Età}) + (6,315 \times \text{Sesso}) - (3,2649 \times \text{Tempo}) - (0,1565 \times \text{FC}) \quad [1]$$

dove le variabili sono espresse in questo modo: il Peso in kg peso; l'Età in anni; il Sesso in Maschio = 1, Femmina = 0; il Tempo in minuti e centesimi di minuto; FC (frequenza cardiaca) in battiti per minuto.

Per ottenere un giudizio qualitativo sullo stato di forma fisico del soggetto si può confrontare il risultato ottenuto con i valori di VO₂max riportati nella Tabella 1 (1-2).

Tabella 1. Tavole di confronto per la valutazione della forma fisica per femmine e maschi

| Età | Molto scarso | Scarso | Medio | Buono | Ottimo | Eccellente |
|----------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Femmine | | | | | | |
| 13-19 | <25,0 | 25,0-30,9 | 31,0-34,9 | 35,0-38,9 | 39,0-41,9 | >41,9 |
| 20-29 | <23,6 | 23,6-28,9 | 29,0-32,9 | 33,0-36,9 | 37,0-41,0 | >41,0 |
| 30-39 | <22,8 | 22,8-26,9 | 27,0-31,4 | 31,5-35,6 | 35,7-40,0 | >40,0 |
| 40-49 | <21,0 | 21,0-24,4 | 24,5-28,9 | 29,0-32,8 | 32,9-36,9 | >36,9 |
| 50-59 | <20,2 | 20,2-22,7 | 22,8-26,9 | 27,0-31,4 | 31,5-35,7 | >35,7 |
| 60+ | <17,5 | 17,5-20,1 | 20,2-24,4 | 24,5-30,2 | 30,3-31,4 | >31,4 |
| Maschi | | | | | | |
| 13-19 | <35,0 | 35,0-38,3 | 38,4-45,1 | 45,2-50,9 | 51,0-55,9 | >55,9 |
| 20-29 | <33,0 | 33,0-36,4 | 36,5-42,4 | 42,5-46,4 | 46,5-52,4 | >52,4 |
| 30-39 | <31,5 | 31,5-35,4 | 35,5-40,9 | 41,0-44,9 | 45,0-49,4 | >49,4 |
| 40-49 | <30,2 | 30,2-33,5 | 33,6-38,9 | 39,0-43,7 | 43,8-48,0 | >48,0 |
| 50-59 | <26,1 | 26,1-30,9 | 31,0-35,7 | 35,8-40,9 | 41,0-45,3 | >45,3 |
| 60+ | <20,5 | 20,5-26,0 | 26,1-32,2 | 32,3-36,4 | 36,5-44,2 | >44,2 |

Test di Cooper e dei 6 minuti

Il test di Cooper (3-4), conosciuto anche con il nome di test dei 12 minuti, fu creato da Kenneth H. Cooper, medico della NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), nel 1968 per usi militari ed è oggi uno dei test più utilizzati nella pratica sportiva per valutare lo stato di forma fisica dell'atleta. Il test è di tipo *submassimale*.

Nella sua forma originale il test prevede che il soggetto che si sottopone ad esso corra per 12 minuti lungo un percorso piano, cercando di coprire la massima distanza possibile. La massima distanza percorsa viene quindi confrontata con valori riportati in opportune tabelle, in modo tale da ottenere un giudizio qualitativo gradato a 5 livelli (Molto bene, Bene, Normale, Male e Malissimo) sullo stato di forma fisica dell'atleta. Inoltre i risultati del test possono essere usati per stimare in maniera indiretta il massimo consumo di ossigeno (VO₂max).

Il test è consigliato per coloro che sono già modestamente allenati e che riescono a correre con un buon ritmo e a mantenerlo nel tempo. È consigliabile sottoporsi ad una visita medica prima di effettuare tale test. Per soggetti con problemi cardiorespiratori o che presentano difficoltà motorie, tale test viene utilizzato in una forma rivisitata e conosciuta con il nome di test dei 6 minuti. La distanza percorsa viene confrontata con valori riportati in Tabella 2.

I risultati del test possono anche essere usati per stimare il VO₂max, usando la seguente formula:

$$VO_2\max = (22,351 \times d) - 11,288 \quad [2]$$

d rappresenta la distanza percorsa espresso in km.

Tabella 2. Test di Cooper: tavole di confronto per la valutazione della forma fisica (in metri percorsi) in diverse fasce d'età e nel caso di professionisti

| Variabile | | Molto bene | Bene | Normale | Male | Malissimo |
|-----------------------|---|------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| 13-20 anni | | | | | | |
| 13-14 | M | > 2700 m | 2400-2700 m | 2200-2399 m | 2100-2199 m | < 2100 m |
| | F | > 2000 m | 1900-2000 m | 1600-1899 m | 1500-1599 m | < 1500 m |
| 15-16 | M | > 2800 m | 2500-2800 m | 2300-2499 m | 2200-2299 m | < 2200 m |
| | F | > 2100 m | 2000-2100 m | 1900-1999 m | 1600-1699 m | < 1600 m |
| 17-20 | M | > 3000 m | 2700-3000 m | 2500-2699 m | 2300-2499 m | < 2300 m |
| | F | > 2300 m | 2100-2300 m | 1800-2099 m | 1700-1799 m | < 1700 m |
| 20-50 anni | | | | | | |
| 20-29 | M | > 2800 m | 2400-2800 m | 2200-2399 m | 1600-2199 m | < 1600 m |
| | F | > 2700 m | 2200-2700 m | 1800-2199 m | 1500-1799 m | < 1500 m |
| 30-39 | M | > 2700 m | 2300-2700 m | 1900-2299 m | 1500-1899 m | < 1500 m |
| | F | > 2500 m | 2000-2500 m | 1700-1999 m | 1400-1699 m | < 1400 m |
| 40-49 | M | > 2500 m | 2100-2500 m | 1500-1899 m | 1200-1499 m | < 1200 m |
| | F | > 2300 m | 1900-2300 m | 1600-1999 m | 1300-1599 m | < 1300 m |
| 50+ | M | > 2400 m | 2000-2400 m | 1600-1999 m | 1300-1599 m | < 1300 m |
| | F | > 2200 m | 1700-2200 m | 1400-1699 m | 1100-1399 m | < 1100 m |
| Professione | | | | | | |
| atleti professionisti | M | > 3700 m | 3400-3700 m | 3100-3399 m | 2800-3099 m | < 2800 m |
| | F | > 3000 m | 2700-3000 m | 2400-2999 m | 2100-2399 m | < 2100 m |

Il test dei 12 minuti, pur essendo un valido strumento per la valutazione dello stato di salute fisica di un individuo, risulta essere particolarmente adatto per persone in salute ed è per questo prevalentemente utilizzato nell'ambito sportivo. Per poter essere sfruttato anche in ambito medico, ne è stata introdotta una versione modificata, conosciuta con il nome di test dei 6 minuti (5-10), che risulta essere uno strumento sicuro, affidabile e diffuso nella pratica medica per la valutazione della capacità di esercizio in tutte le fasce di età, e in diversi campi quali la cardiologia, la riabilitazione, la pneumologia e in generale in medicina cardiovascolare. La modifica introdotta rispetto il test originale riguarda la durata del test stesso, che è ridotta da 12 a 6 minuti, in maniera tale che il test possa essere ben tollerato e non risulti eccessivamente stancante per soggetti di diverse età e con particolari condizioni di salute. È sconsigliata l'esecuzione del test su tapis roulant poiché si pensa che sul tapis roulant il paziente non sia in grado di ottimizzare la frequenza del passo e del ritmo della camminata, invalidando la corretta esecuzione del test.

La formula per la stima del $VO_2\max$ è la seguente:

$$VO_2\max = (3,5 \times d) \times 10^{-2} \quad [3]$$

dove come nel caso del test di Cooper d è la distanza percorsa.

Test di Bruce

Il test di Bruce è stato sviluppato dal Robert A. Bruce (11-12) per diagnosticare i problemi cardiaci dei suoi pazienti. Oggi è un test molto utilizzato in ambito sportivo per valutare la prestazione aerobica degli atleti e in ambito medico per evidenziare eventuali anomalie cardiache. Il test permette di stimare il massimo consumo di ossigeno ($VO_2\max$) del soggetto che si sottopone ad esso. Il test di Bruce è stato sviluppato con l'obiettivo di diagnosticare i problemi cardiaci dei suoi pazienti, visto che nessuno dei test sviluppati fino a quel momento erano in grado

di raggiungere tale obiettivo. Nella prima formulazione il test prevedeva un'unica fase in cui i soggetti venivano fatti camminare su tapis roulant per 10 minuti con un carico di lavoro fisso. Durante il test veniva monitorata l'attività cardiaca del paziente tramite la connessione di quest'ultimo ad un elettrocardiografo e l'attività respiratoria tramite la misurazione di differenti parametri. Il primo studio su tale test fu pubblicato nel 1949 e in esso si riportava l'analisi minuto per minuto dei cambiamenti nelle funzioni respiratorie e cardiache di adulti sani e pazienti con problemi cardiaci e polmonari. In seguito Bruce e altri suoi colleghi svilupparono delle ulteriori varianti del test, questa volta composto da diverse fasi caratterizzate da progressivi incrementi del carico di lavoro. Il test può essere utilizzato nello screening di persone apparentemente sane per l'individuazione dei primi segni di malattia coronarica. Tale test multifase è quello oggi utilizzato ed è conosciuto con il nome di protocollo di Bruce. Di seguito si riporta la sua metodologia di esecuzione.

Il test di Bruce è un *test massimale* e come tale viene portato avanti fino a quando il soggetto che si sottopone ad esso non sarà più in grado di proseguire. Essendo un test che richiede un grande sforzo fisico, prima di sottoporsi ad esso è preferibile effettuare una visita medica. Siccome il test richiede variazioni, con frequenza regolare, di velocità e pendenza deve essere eseguito in laboratorio su tapis roulant.

La descrizione riportata di seguito è relativa al protocollo di Bruce standard. Ne esistono anche versioni modificate che utilizzano carichi di lavoro più bassi e sono state sviluppate per rendere il test utilizzabile anche per soggetti anziani o sedentarie.

Materiale occorrente:

- tapis roulant professionale con incrementi combinati di velocità e pendenza;
- cronometro.

Protocollo:

- Preparazione al test: eseguire un riscaldamento di almeno 10-15 minuti di corsa lenta intervallata da cambi di ritmo.
- Esecuzione del test: la prova è composta da vari livelli, ognuno della durata di 3 minuti; ad ogni livello vi è un incremento combinato di velocità e pendenza. Per iniziare impostare il tapis roulant ad una velocità di 2,7 km/h e ad una pendenza del 10%, far salire il soggetto e iniziare la corsa. Ogni 3 minuti verrà variata la velocità e la pendenza del tapis roulant, secondo i valori riportati in Tabella 3. Il test terminerà quando il soggetto non sarà più in grado di sopportare un ulteriore aumento dei due parametri sopra citati. Si misura con il cronometro la durata temporale del test.

Tabella 3. Test di Bruce: valori di velocità e pendenza nei diversi step

| Step | Tempo (minimo) | Velocità | Pendenza |
|------|----------------|----------|----------|
| 1 | 0 | 2,74 | 10% |
| 2 | 3 | 4,02 | 12% |
| 3 | 6 | 5,47 | 14% |
| 4 | 9 | 6,76 | 16% |
| 5 | 12 | 8,05 | 18% |
| 6 | 15 | 8,85 | 20% |
| 7 | 18 | 9,65 | 22% |
| 8 | 21 | 10,46 | 24% |
| 9 | 24 | 11,26 | 26% |
| 10 | 27 | 12,07 | 28% |

L'analisi dei risultati permette di stabilire il $VO_2\max$ dell'atleta e, se riferita a test precedenti, è in grado di dare una stima dei miglioramenti o peggioramenti della prestazione.

Per stabilire tale valore si fa riferimento alle seguenti equazioni [4] e [5].

Per gli uomini vale la formula:

$$VO_2\max = 14,8 - (1,379 \times T) + (0,451 \times T^2) - (0,012 \times T^3) \quad [4]$$

Per le donne vale la formula:

$$VO_2\max = 4,38 \times T - 3,9 \quad [5]$$

dove T rappresenta la durata totale del test espressa in minuti e frazioni di secondo.

Test di Balke

Il test di Balke (11-13) è un test utilizzato sia in ambito sportivo che in ambito medico. Ne esistono differenti versioni che si adattano a differenti scopi e che fanno riferimento a protocolli differenti. Di seguito vengono presentate due di queste versioni, una eseguita su campo, una eseguita in laboratorio.

Test di Balke su campo (test dei 15 minuti)

Nella versione eseguita su campo, il test di Balke è conosciuto anche come test dei 15 minuti. Esso permette di stimare il massimo consumo di ossigeno a partire dalla distanza percorsa durante il test stesso. Nella sua esecuzione è molto simile al test di Cooper, l'unica differenza sta nella durata che in questo test è di 15 minuti. Esistono differenti equazioni che possono essere utilizzate per stimare il massimo consumo di ossigeno.

La formula tradizionale proposta da Balke è:

$$VO_2\max = 6,5 + 12,5 \times d \quad [6]$$

dove d è la distanza totale percorsa espressa in km.

Un'altra formula utilizzata è quella proposta da Horwill (11-13):

$$VO_2\max = 0,172 \times (d/15 - 133) + 33,3 \quad [7]$$

dove d è la distanza percorsa espressa in metri.

Test di Balke con tapis roulant

Tale versione del test, è stata sviluppata in ambito medico per determinare il consumo di ossigeno in pazienti con problemi cardiaci. Essa ha trovato comunque applicazione anche in campo sportivo per la valutazione dello stato di forma fisica degli atleti. È un test *massimale* che termina quando il soggetto non è più in grado di andare avanti.

Materiale occorrente:

- tapis roulant;
- cronometro.

Protocollo:

- Preparazione al test: il soggetto esegue un riscaldamento di 10-15 minuti;
- Esecuzione del test: viene richiesto al soggetto di camminare a velocità costante su tapis roulant. La velocità verrà mantenuta costante per tutta la durata del test, mentre la pendenza verrà aumentata ad intervalli di 1-2 minuti. Il cronometro viene attivato all'inizio dell'esercizio e viene bloccato nel momento in cui il soggetto non riesce più ad andare

avanti. Esistono differenti versioni di questo protocollo che si differenziano per gli intervalli e la frequenza degli incrementi di pendenza.

Il massimo consumo di ossigeno viene calcolato utilizzando le seguenti formule (introdotta da Pollock):

- per gli uomini vale la formula:

$$VO_2\max = 1,444 (T) + 14,99 \quad [8]$$

- per le donne vale la formula:

$$VO_2\max = 1,38 (T) + 5,22 \quad [9]$$

dove T rappresenta la durata temporale del test espressa in minuti.

Cenni sui test per la stima della soglia anaerobica

La soglia anaerobica è una stima della capacità di sostenere un esercizio prolungato. Il suo valore indica la massima intensità di esercizio corrispondente ad un livello costante nella concentrazione ematica di lattato (circa 4 moli/litro). Essa rappresenta inoltre, il punto di attivazione massiccia del meccanismo anaerobico, cioè quel punto di demarcazione fra esercizio moderato e intenso. Oltre questo punto la produzione di anidride carbonica, la ventilazione (atti respiratori al minuto) e il livello di acido lattico prodotto crescono rapidamente. In molti casi è preferibile misurare la soglia anaerobica rispetto al $VO_2\max$. Infatti negli atleti il massimo consumo di ossigeno sale all'inizio degli allenamenti poi non aumenta più. Quello che si modifica è la percentuale di $VO_2\max$ che può essere sostenuto a lungo. Inoltre la soglia anaerobica in molte discipline si correla meglio con la prestazione, costituendo così un miglior indice di potenza aerobica.

Nei soggetti non allenati, se rapportata con il massimo consumo di ossigeno, la soglia anaerobica coincide approssimativamente con il 55% del $VO_2\max$. In atleti di alto livello tale valore può invece raggiungere l'85% del massimo consumo di ossigeno.

I metodi per misurare la soglia anaerobica di uno sportivo sono basati su:

- concentrazione del lattato ematico;
- misurazione dei parametri ventilatori;
- deflessione della curva frequenza cardiaca/intensità di esercizio (Test Conconi).

Il primo metodo oltre ad essere invasivo non garantisce una precisione ottimale. È stato infatti dimostrato che le concentrazioni di lattato allo stato stazionario variano notevolmente da persona a persona. Questo problema è stato in parte risolto da un metodo abbastanza complesso in grado di definire la soglia anaerobica individuale. Tuttavia il lattato in circolo è sempre e comunque un'ombra di quello muscolare e questo riduce la precisione dei test che lo utilizzano come parametro per valutare la soglia anaerobica.

La misurazione dei parametri ventilatori fornisce invece risultati estremamente precisi. Purtroppo tale metodica richiede l'uso di apparecchiature molto costose (analizzatore dei gas respiratori). Il terzo metodo, il test Conconi, è il modo più semplice e utilizzato per determinare la Soglia anaerobica di un atleta. Si rimanda ai due lavori (14-15) per una dettagliata descrizione che esula dagli obiettivi di questo rapporto.

Bibliografia

1. Ferretti G, Gussoni M, Di Prampero PE, Cerretelli P. Effects of exercise on maximal instantaneous muscular power of humans. *J Appl Physiol* 1987;62(6):2288-94.

2. Cooper CB, Storer TW. *Exercise testing and interpretation: a practical approach*. Cambridge: Cambridge University Press; 2001.
3. Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen uptake. *Journal of the American Medical Association* 1968;203:201-4.
4. Mitchell H, Sproule BJ, Chapman, CB. The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *J Clin Invest* 1958;37:538-47.
5. Stevens D, Elpern E, Sharma K. Comparison of hallway and treadmill six minute walking test. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;160:1540-3.
6. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 2002;166 (1):111-7.
7. Li AM, Yin J, Yu C, Tsang T, So AK, Wong E, Chan D, Hon E, Sung R. The six-minute walk test in healthy children: reliability and validity. *Eur Respir J* 2005;25(6):1057-60.
8. Gulmans V, Van Veldhoven N, De Meer K, Helders P. The six-minute walking test in children with cystic fibrosis: reliability and validity. *Pediatr Pulmonol J* 1996;22:85-9.
9. Enright PL, Mc Burnie MA, Bitter V, Tracy RP, Mc Namara R, Arnold A, Newman AB. Il test del cammino dei 6 minuti. Una misura rapida dello stato funzionale negli adulti anziani. *Chest Edizione Italiana* 2003;4:28-39
10. Troosters T, Gosselink R, Decramer M. Six minute walking distance in healthy elderly subjects. *Eur Respir J* 1999;14(2):270-4.
11. Solway S, Brooks D, Lacasse Y, Thomas S. A qualitative systemic overview of the measurement properties of functional walk tests used in the cardiorespiratory. *Chest* 2001;119: 256-70.
12. Bruce RA, Lovejoy FW, Pearson R, Yu P, Brothers GB, Velasquez T. Normal respiratory and circulatory pathways of adaptation in exercise. *J. Clin Invest* 1949; 28: 1423-30.
13. Balke B, Ware RW. An experimental study of physical fitness of Air Force personnel. *U.S. Armed Forces Med J* 1959, 10(6):675-88.
14. Ballarin E, Sudhues U, Borsetto C, Casoni I, Grazi G, Guglielmini C, Manfredini F, Mazzoni G, Conconi F Reproducibility of the Conconi test: test repeatability and observer variations. *Int J Sports Med* 1996;17(7):520-4.
15. Jones AM, Doust JH. Lack of reliability in Conconi's heart rate deflection point. *Int J Sports Med* 1995;16(8):541-4

Capitolo 2

INDICI DEL CONSUMO METABOLICO

Daniele Giansanti (a), Donatella Isopi (b), Luana Bottini (b), Alberto Boschetto (b)
(a) *Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma*
(b) *Università Sapienza, Facoltà di Ingegneria, Roma*

Introduzione

I test del cammino permettono di valutare quale è lo stato di forma fisica di un individuo in relazione alle prestazioni di quest'ultimo nello svolgimento di un preciso test fisico. Come visto, tali test, si soffermano principalmente sulla stima della massima quantità di ossigeno consumata dal soggetto e in relazione ad essa, valutano quale sia il suo stato di forma fisica. Per valutare, invece, la quantità di attività fisica svolta da un individuo si può far riferimento anche ad altre metodologie, che permettono, tramite la stima di diversi indici, di valutare la quantità di energia che verrà consumata dall'organismo in relazione allo svolgimento di specifiche attività. Per valutare quanta attività fisica facciamo in un certo periodo di tempo sono necessari strumenti quantitativi, che possono consistere in misurazioni individuali o stime. Le prime, più precise, sono applicabili a singole persone o a limitati numeri di individui sotto il controllo di uno specialista, per esempio un gruppo di sportivi con il loro istruttore. Per uso personale esistono strumenti portatili, come i contapassi, i cardiofrequenzimetri e i metabolimetri portatili che consentono di monitorare la propria attività fisica e di paragonarla a standard di riferimento: numero di passi, numero di battiti cardiaci al minuto, consumo di calorie. A livello di popolazione, le misurazioni di massa sono improponibili ed è più conveniente affidarsi a strumenti come questionari o interviste, di cui esistono modelli convalidati a livello internazionale. Questi modelli si basano su medie indicative, ottenute sperimentalmente e statisticamente da misure dirette effettuate su campioni di persone.

Di seguito vengono riportati i principali indici utilizzati più comunemente nella stima del consumo metabolico (1-2) e della spesa energetica giornaliera, necessaria affinché un individuo possa svolgere specifiche attività. Particolare attenzione è stata concentrata sull'indice MET (*Metabolic Equivalent Task*) che risulta essere un metodo semplice e scientificamente accettato per lo scopo suddetto. Oltre all'indice MET, che è sicuramente uno dei più conosciuti, esistono altri indici che vengono utilizzati per la valutazione del dispendio energetico di un individuo.

Indici per la stima del consumo metabolico

Gli indici storici del consumo metabolico sono:

– BMR (*Basal Metabolic Rate*)

Tale indice, conosciuto anche con il nome di *Basal Energy Expenditure* (BEE), rappresenta la quantità minima di energia necessaria all'organismo per far funzionare gli organi vitali quando il soggetto è completamente a riposo e a digiuno. Affinché possa essere misurato, è necessario ricreare condizioni molto restrittive: il soggetto deve stare in una stanza buia, sdraiato in posizione di riposo e il BMR va misurato immediatamente dopo il risveglio di

questo, dopo 8 ore di sonno e 12 ore di digiuno (per garantire che il sistema digestivo non sia attivo).

– RMR (*Resting Metabolic Rate*)

È conosciuto anche con il nome di *Resting Energy Expenditure* (REE). Esso rappresenta la quantità di energia necessaria a mantenere in funzione l'organismo, quando questo è completamente a riposo ma non a digiuno. È leggermente differente dal BMR e può essere misurato in maniera meno restrittiva. Il valore del RMR è maggiore di quello del BMR. Esso può essere calcolato come la somma del BMR e del TEF (*Thermic Effect of Food*) che rappresenta la spesa energetica richiesta per la digestione e l'assorbimento dei nutrienti:

$$\text{RMR} = \text{BMR} + \text{TEF} \quad [1]$$

– AEE (*Activity Energy Expenditure*)

Tale indice rappresenta la spesa energetica per lo svolgimento di attività fisiche.

– TEE (*Total Energy Expenditure*)

Rappresenta la spesa energetica totale di un individuo. È data dalla somma degli indici introdotti in precedenza:

$$\text{TEE} = \text{BMR} + \text{TEF} + \text{AEE} = \text{RMR} + \text{AEE} \quad [2]$$

– BMI (*Body Mass Index*)

Rappresenta una valutazione del peso del soggetto in relazione alla sua altezza ed è usato come parametro per l'individuazione dello stato di peso-forma. Viene calcolato tramite la seguente formula:

$$\text{BMI} = \text{peso}(\text{kg}) / [\text{altezza}(\text{m}) \times \text{altezza}(\text{m})] \quad [3]$$

L'Organizzazione Mondiale della Sanità e la medicina nutrizionale utilizzano tale indice insieme a delle tabelle, come quella riportata di seguito, per definire lo stato di peso-forma di un individuo e quale è il rischio a cui questo è esposto circa malattie legate all'obesità. Generalmente, con il crescere del BMI, cresce anche il rischio di malattie. Bisogna tener conto però, che l'equazione usata per stimare il BMI non considera la percentuale di massa grassa dell'individuo, ma soltanto il suo peso. Questo implica che, se si calcola il BMI, per esempio per un atleta o per una persona molto muscolosa, la sola analisi dell'indice potrebbe indurre a posizionare il soggetto in una categoria di rischio più elevata rispetto a quella cui appartiene effettivamente. Si riporta in Tabella 1 una correlazione tra il BMI e il livello di forma fisica.

Tabella 1. Correlazione tra il valore del BMI e il livello di forma fisica

| BMI | Livello di forma fisica |
|---------|-------------------------|
| 30-40 | Obeso |
| 25-30 | Sovrappeso |
| 18,5-25 | Normale |
| < 18,5 | Magro |

– MI (*Metabolic Index*)

Risolve i problemi riscontrati con il BMI. Esso infatti, viene calcolato considerando sia il rapporto tra peso e altezza dell'individuo, sia la percentuale di massa grassa. Si ottiene dividendo il BMI per la percentuale di grasso corporeo. Quest'ultima può essere misurata

utilizzando diverse tecniche, tra le quali la più accurata risulta essere quella della pesatura idrostatica.

– *PI (Performance Index)*

È un indicatore che è stato introdotto dalla Technogym (Technogym SpA, Italia) per fornire una valutazione sintetica e facilmente comparabile dell'allenamento svolto. Per misurarlo è necessario che il soggetto indossi un cardiofrequenzimetro per almeno 3 minuti. Tale indice fa riferimento ad una scala di valutazione che va da 0 a 99. Più il valore dell'indice è elevato, maggiore sarà la capacità aerobica. Un aumento dell'indice di performance significa che, a parità di frequenza cardiaca, si è in grado di eseguire un esercizio ad una intensità maggiore. La Tabella 2 riporta la correlazione tra PI e valutazione qualitativa dell'allenamento.

Tabella 2. Correlazione tra PI e valutazione qualitativa dell'allenamento

| Valore PI | Giudizio |
|------------|---------------|
| <10 | insufficiente |
| Da 11 a 20 | sufficiente |
| Da 21 a 30 | buono |
| Da 31 a 40 | ottimo |
| >40 | eccellente |

– *RQ (Respiratory Quotient)*

È un indicatore che viene utilizzato nel calcolo del BMR, quando questo viene stimato mediante metodologie indirette che fanno riferimento alla quantità di anidride carbonica prodotta. Si calcola come rapporto tra l'anidride carbonica rilasciata dall'organismo e l'ossigeno consumato:

$$RQ = \text{CO}_2 \text{ eliminata} / \text{O}_2 \text{ consumato} \quad [4]$$

Il TEE è una misurazione importantissima che tuttavia è difficile da ottenere e generalmente può essere effettuata solo in condizioni sperimentali. È pratica comune misurare prima l'RMR, e quindi stimare le altre componenti del TEE.

Per valutare il metabolismo a riposo, si utilizzano le formule ottenute da Harris e Benedict (2):

- per gli uomini vale la formula

$$RMR = 66,5 + 13,8 \times w + 5 \times h - 6,8 \times a \quad [5]$$

- per le donne vale la formula

$$RMR = 655,1 + 9,6 \times w + 1,8 \times h - 4,7 \times a \quad [6]$$

dove: w = peso (kg); h = altezza (cm); a = età (anni).

Questo metodo consente di ottenere una stima di RMR con accuratezza del 20%.

Queste formule tengono conto del sesso, del peso corporeo, dell'altezza e dell'età. L'RMR calcolato deve poi essere modificato da un fattore per prevedere il fabbisogno energetico di attività totali in base allo stile di vita. I fattori di aggiustamento di attività per adulti sani spesso vanno da 1,2 (stile di vita sedentario) a 1,5 (moderatamente attivo), e sono anche ulteriormente aumentati per soggetti molto attivi.

La composizione corporea influenza la spesa energetica e, di conseguenza, può influenzare la capacità predittiva delle formule. La massa magra è la più grande determinante della spesa energetica basale. Tuttavia, gli individui obesi hanno un RMR inferiore a quanto previsto se si

utilizzano le formule precedenti, a causa di una maggiore percentuale di massa grassa rispetto a quella magra. Pertanto le equazioni non possiedono uguale capacità predittiva tra individui di peso normale rispetto agli individui in sovrappeso o con storie differenti di perdita di peso.

Le seguenti rappresentano una modifica delle due formule per renderle più accurate (2) è la seguente:

- per gli uomini vale la formula

$$\text{RMR}=88,362+13,397\times w+4,799\times h-65,677\times a \quad [7]$$

- per le donne vale la formula

$$\text{RMR}=447,593+9,247\times w+3,098\times h-4,330\times a \quad [8]$$

Anche queste equazioni sono dipendenti dal peso corporeo e non tengono conto delle diverse attività che vengono condotte e della differenza tra massa magra e massa grassa.

Un indice emergente: il *Metabolic Equivalent Task*

Definizioni

Un semplice metodo per registrare e valutare l'intensità dell'attività fisica svolta è il *Metabolic Equivalent Task* (MET) (3) o equivalente metabolico: un MET è definito come il livello del metabolismo di un individuo dal peso standard di 70 kg peso e di 40 anni seduto tranquillamente a riposo. Multipli del MET indicano livelli crescenti di sforzo fisico: 2 MET indicano che l'energia spesa è il doppio che a riposo, 3 MET corrispondono al triplo del dispendio energetico a riposo e così via. Un MET corrisponde al consumo di 3,5 mL di ossigeno al minuto, per kg di peso corporeo.

L'indice MET può anche essere utilizzato per conoscere la quantità di lavoro svolta durante l'attività fisica. La quantità di lavoro infatti, può essere calcolata moltiplicando l'intensità (espressa in MET) per il tempo dell'esercizio (espresso in minuti): il risultato di tale prodotto ci fornirà la quantità di lavoro svolto espresso in MET-minuti. Per esempio se una persona pratica un'attività di 4 MET per 30 minuti, svolge un lavoro pari a $4 \times 30 = 120$ MET-minuti. Si noti inoltre che la stessa quantità di lavoro si ottiene svolgendo un esercizio di intensità 6 MET per 20 minuti: $6 \times 20 = 120$ MET-minuti. In pratica, camminare di buon passo a 5 km / h per mezz'ora (intensità di 3,3 MET) fa totalizzare circa 100 MET-minuti, equivalenti a correre a 10 km/h (intensità di 10 MET) per una decina di minuti. È stato appurato che i benefici dell'attività fisica sulla salute dipendono principalmente dal valore totale di energia consumata durante l'esercizio fisico: la maggior parte dei vantaggi si raggiungono totalizzando da 500 a 1.000 MET-minuti alla settimana. I benefici crescono in modo proporzionale al totale dell'energia spesa; già al di sotto della soglia di 500 MET-minuti c'è qualche beneficio, mentre al di sopra di 1.000 i vantaggi per la salute possono essere ancora maggiori.

Nella pratica comune, l'intensità dello sforzo fisico espresso in MET nello svolgere specifiche attività è riportato in apposite tabelle costruite tramite misurazioni dirette realizzate su campioni di popolazione. Un esempio di tali tabelle è riportata di seguito (Tabella 3).

Tabella 3. Correlazione tra MET e diverse attività con esempi

| MET | Attività | Esempio |
|------|--|---|
| 1 | Dormire, riposare sdraiati | Prendere il sole, guardare la TV coricati su un divano |
| 2 | Attività da seduti | Mangiare, leggere, guidare l'auto, suonare strumenti musicali, bricolage leggero |
| 3 | Esercizio molto leggero | Lavoro d'ufficio, guidare mezzi pesanti, camminare di buon passo, curare pazienti |
| 4 | Esercizio leggero (respiro normale) | Spolverare, fare shopping, fare giardinaggio, camminare molto velocemente |
| 5 | Esercizio moderato (respiro profondo) | Camminare portando pesi, andare in bicicletta, pulire i vetri, imbiancare, lavori di carpenteria, ballare, sci alpino |
| 6 | Esercizio vigoroso (respiro accelerato, senso di calore) | Jogging moderato, nuotare, giocare a tennis, pattinare, portare le piante, salire e scendere le scale, sci di fondo |
| 7 | Esercizio pesante (dispnea e sudore profuso) | Giocare a basket, salire le scale portando pesi, praticare escursionismo |
| 8-10 | Esercizio molto pesante | Correre a velocità > 10 km/h |

Si noti che:

- Per le attività sportive riportate in tabella è stata considerata una pratica a scopo ricreativo e non competitivo.
- Il MET corrisponde all'energia spesa al minuto da un soggetto di 40 anni del peso di 70 kg tranquillamente seduto, cioè un consumo di 3,5 mL di ossigeno per kg di peso corporeo al minuto.
- Il lavoro aerobico in un adulto sano in buona forma può raggiungere i 6 MET senza eccessiva sensazione di fatica.

Limiti nell'uso del MET

I valori del MET, che possiamo trovare in apposite tabelle, dove differenti valori di questo indice sono associati allo svolgimento di specifiche attività, sono stati ricavati da studi statistici condotti su campioni di persone sottoposte a misurazioni reali durante sforzo muscolare. Per questo motivo tali valori devono essere considerati come indicativi e statisticamente validi per una persona media. Naturalmente, il livello di intensità con cui una persona svolge una specifica attività, si discosterà dai livelli usati per il calcolo sperimentale dei valori tabulati e inoltre il dispendio energetico e l'RMR varierà secondo il livello di forma fisica del soggetto e di altri fattori. Le stesse considerazioni valgono per i valori del MET forniti da attrezzature moderne per il fitness, che si basano su modelli statistici e hanno un valore puramente indicativo. Anche se i valori del MET forniti da tali macchine sono una stima migliore rispetto i valori tabulati, non esiste comunque un modo per correlare tali valori all'effettivo RMR della persona e quindi all'effettivo consumo energetico, che sarà influenzato da numerosi fattori fisici e ambientali, come il livello di forma fisica, la salute cardiovascolare nonché le condizioni ambientali in cui l'attività fisica viene svolta. Tenendo conto di quanto affermato fino ad ora, una persona può utilizzare il concetto di MET per pianificare o monitorare i livelli di attività fisica o per avere una indicazione dell'intensità aerobica e dell'ordine di grandezza dell'energia spesa per una specifica attività, ma non può usare tale concetto per calcolare l'effettivo dispendio energetico (3-5).

I limiti appena esposti rendono problematica anche la definizione di MET quando questa si riferisce ad una persona specifica. Si ricorda che per definizione si ha che 1 MET =

3,5 mL O₂/kg/min; tale valore è stato ricavato sperimentalmente dal consumo di ossigeno di un particolare soggetto (40 anni, in salute, 70 kg di peso) e per questo esso deve essere considerato standard. Dato che l'RMR di una persona dipende principalmente dalla massa magra (e non dal peso totale) e da altri fattori fisiologici, l'RMR reale (e quindi un MET equivalente di energia) può variare in modo significativo da una persona ad un'altra. Misurazioni dell'RMR realizzate in ricerche mediche, usando la calorimetria, hanno mostrato che il valore standard di un MET sottostima il reale consumo di ossigeno di un soggetto a riposo e il suo reale dispendio di energia di circa il 20-30%. Da tali studi è inoltre emerso che la variabilità del consumo energetico è da attribuirsi principalmente alla composizione corporea (rapporto tra massa magra e grassa).

L'esperienza statunitense: *Compendium of physical activities*

Il *Compendium of Physical Activities* (CPA) (6) fu sviluppato per essere utilizzato negli studi epidemiologici in maniera di standardizzare l'assegnazione dei valori da dare al MET nei questionari relativi all'attività fisica. Esso fu progettato dal Bill Haskell dell'Università di Stanford e fu usato per la prima volta negli USA per uno studio di monitoraggio dell'attività fisica *Survey of Activity, Fitness and Exercise* (SAFE) del 1987 e 1989. In seguito il CPA fu usato in tutto il mondo per l'assegnazione dei valori del MET e per sviluppare modi innovativi di valutare l'energia spesa nelle attività fisiche. La prima versione fu pubblicata nel 1993, a questa sono seguite versioni aggiornate nel 2000 e nel 2011.

Anche nell'uso del CPA si presentano le stesse limitazioni che sono state già sottolineate nell'uso dell'indice MET. Il CPA, infatti, non nasce come strumento per determinare il preciso costo energetico delle attività fisiche del singolo individuo, ma piuttosto per fornire una classificazione che standardizza l'assegnazione dei valori da dare al MET in relazione a differenti attività fisiche. Questo significa che i valori del MET riportati nel CPA non stimano il dispendio energetico tenendo conto delle differenze di massa corporea, età, sesso, efficienza nel movimento e condizioni ambientali in cui vengono svolte le attività e ciò implica che l'energia spesa da diversi individui nel compiere una stessa attività può essere molto diversa.

Nonostante l'obiettivo del CPA sia quello riportato sopra, molto spesso quest'ultimo viene utilizzato al di fuori del suo scopo originale. Questo ha reso necessario fornire un metodo che permetta di "aggiustare" i valori del MET forniti dal CPA stesso per poterli utilizzare per altri scopi. Come già affermato in precedenza, nel CPA, il termine MET, è utilizzato per riflettere il costo energetico di un'attività fisica e pur di grande utilità soffre dei limiti precedentemente esposti (3-5). Pertanto da taluni studiosi sono state mosse critiche al CPA.

Nella Tabella 4 si mette in evidenza come variazioni nell'età, nell'altezza, nella massa corporea possono influenzare il dispendio energetico nello svolgere una stessa attività. Nella tabella vengono confrontati i valori del MET standard e i valori corretti per soggetti di entrambi i sessi di 35 anni, con peso normale e per soggetti di entrambi i sessi di 55 anni, in sovrappeso, in relazione a 7 attività diverse. Un valore di riepilogo in MET-minuti è calcolato, a scopo di confronto, per ogni colonna, usando come tempo di esecuzione di ogni attività il valore 30 minuti. I valori del MET presi dal CPA 2011 sono i valori standard. I dati delle altre colonne invece mostrano come sia rilevante l'impatto, nella stima del costo energetico di una attività, del peso, dell'età e del sesso. Dalla tabella, si nota, che in tutte le attività considerate, i valori standard del MET sottostimano i valori corretti. Inoltre, si vede, che i soggetti più giovani e con peso normale hanno livelli di MET più vicini a quelli standard rispetto l'altro gruppo di soggetti. I dati mostrano anche che il costo energetico effettivo aumenta all'aumentare della massa corporea (BMI) e dell'età.

Tabella 4. Valori del MET in relazione ad attività specifiche secondo il CPA 2011

| Attività | Valori di MET | Valore corretto del MET | | | |
|------------------------|---------------|--|--|--|--|
| | | Femminile | | Maschile | |
| | | <i>peso normale</i> 60 kg, 168 cm, 35 anni | <i>sovrappeso</i> 77 kg, 168 cm, 55 anni | <i>peso normale</i> 70 kg, 178 cm, 35 anni | <i>sovrappeso</i> 91 kg, 178 cm, 55 anni |
| Salto con la corda | 12,3 | 13,5 | 16,5 | 12,9 | 15,4 |
| Corsa di 6 miglia/h | 9,8 | 10,7 | 13,1 | 10,3 | 12,3 |
| Bicicletta | 7,5 | 8,2 | 10,0 | 7,9 | 9,4 |
| Spingere un passeggino | 4,0 | 4,4 | 5,4 | 4,2 | 5,0 |
| Ginnastica ritmica | 3,5 | 3,8 | 4,7 | 3,7 | 4,4 |
| Shopping | 2,3 | 2,5 | 3,1 | 2,4 | 2,9 |
| Guardare la TV | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,4 | 1,6 |
| Totale MET in minuti* | 1221 | 1335 | 1635 | 1294 | 1530 |

*usando come tempo di esecuzione 30 min

Nelle *Physical Activity Guidelines for Americans (7)* del 2008, è dato particolare spazio al MET. L'intensità delle diverse attività è stata classificata in 3 categorie:

- Leggera : < 3MET
- Moderata: 3 MET-5,9 MET
- Alta : ≥ 6 MET

Bibliografia

1. Howley ET. You asked for it: question authority. *ACSM'S Health Fitness J* 2000; 4(1): 6-40
2. Harris JA, Benedict FG. A biometric study of human basal metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA* 1918;4(12):370-3.
3. Brooks AG, Withers RT, Gore CJ. Measurement and prediction of METs during household activities in 35- to 45-year-old females. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:638-48.
4. Kwan M, Woo J, Kwok T. The standard oxygen consumption value equivalent to one metabolic equivalent (3.5 mL/min/kg) is not appropriate for elderly people. *Int J Food Sci Nutr* 2004;55(3):179-82.
5. Kozey S, Lyden K, Staudenmayer J, Freedson PJ. Errors in MET estimates of physical activities using 3.5 mL x kg(-1) x min(-1) as the baseline oxygen consumption. *Phys Act Health* 2010;7(4):508-16.
6. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DR Jr, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-Glover MC, Leon AS. 2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(8):1575-81.
7. US Department of Health and Human Services. *2008 Physical Activity Guidelines for Americans*. Washington, DC: Secretary of Health and Human Services; 2008.

Capitolo 3

CONTAPASSI E DISABILITÀ

Giovanni Maccioni, Daniele Giansanti

Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Contapassi tradizionali

Un movimento moderato è un importante aiuto per la prevenzione di patologie serie come l'obesità, il diabete, le patologie cardiovascolari e, più generalmente per la prevenzione della degenerazione dell'apparato muscolo-scheletrico. Questo convincimento è stato il volano per la progettazione di sistemi semplici e indossabili da utilizzare per il conteggio dei passi, che rappresenta un indice importante dell'attività motoria. Il cosiddetto pedometro o contapassi è oggetto di attenzione tecnologica da parte di numerose industrie proprio con questo fine. Uno dei meccanismi più semplici su cui si basa è di tipo mecatronico; una piccola leva durante il cammino oscilla verticalmente o orizzontalmente a causa delle sollecitazioni dovute al cammino colpendo un opportuno sensore elettronico miniaturizzato. Il numero dei colpi si fa coincidere con il numero dei passi. In genere il pedometro si indossa al livello della cinta, sul fianco destro o sinistro sul polso, sulla caviglia o addirittura internamente alla scarpa. La letteratura mostra un ampio utilizzo di questi pedometri, per esempio, negli studi sulla prevenzione dell'obesità (1), negli studi di prevenzione cardiovascolare (2), nella cura del diabete (3) e nel monitoraggio dell'attività fisica in generale (4). Alcuni autori (5) hanno affrontato uno studio di validazione di 13 modelli di pedometri commerciali su individui sani che effettuano un numero elevato di passi (vicino a 10.000). I risultati hanno mostrato che molte di queste soluzioni commerciali hanno sottostimato il conteggio dei passi di circa il 25% e che molte altre hanno sovrastimato il conteggio dei passi di circa 45%. Keenan e Wilhelm hanno chiarito che i pedometri sono confusi dallo stile del movimento, che può variare in base alle patologie e alle applicazioni come nel caso della malattia del Parkinson (6). Tali studi (5-6) hanno mostrato importanti limiti dei pedometri commerciali. Inoltre, nostri studi preliminari è emerso che la maggior parte dei pedometri (in particolare i più economici) hanno seri limiti di interoperabilità con i tradizionali elaboratori; in breve, mentre è possibile visualizzare il dato relativo al conteggio dei passi sul display, nella maggior parte dei casi risulta impossibile estrarlo per scambiarlo con gli elaboratori tradizionali ad esempio per applicazioni telemediche o di teleriabilitazione. È possibile pertanto affermare che i pedometri commerciali soffrono di diversi limiti. Il primo limite è rappresentato dal fatto che nonostante i pedometri siano stati ampiamente usati, esistono aspetti importanti riguardo all'accuratezza che vanno sicuramente perfezionati. Il secondo è che la prestazione dei pedometri tradizionali degrada con l'aumentare del grado di disabilità del soggetto a causa dello stile del movimento che può confondere il pedometro. Il terzo riguarda l'interoperabilità con gli elaboratori in vista di connessioni su LAN e nella fornitura di parametri derivati.

Verso la progettazione di contapassi innovativi

I contapassi sviluppati specificatamente per il monitoraggio su soggetti con diversa disabilità motoria e in grado di superare i limiti sopra esposti dei contapassi commerciali potrebbero avere

un utile impiego in ambito riabilitazione motoria, per misure ripetitive, per il monitoraggio giornaliero e/o domiciliare eseguiti liberamente / in condizioni di test del cammino o in combinazione con strumenti meccanici di riabilitazione (scale, scivoli, percorsi con corrimano) da poter utilizzare sia in clinica che a casa in ambito teleriabilitativo. Presso l’Istituto Superiore di Sanità sono stati sviluppati due contapassi con questo obiettivo.

Contapassi basato sulla misura dell’espansione del gastrocnemio

È stato sviluppato un primo contapassi basato sulla misura dell’espansione del gastrocnemio (muscolo del polpaccio) durante il cammino. Tale contapassi viene fissato all’altezza del gastrocnemio, il numero dei passi è incrementato monitorando le espansioni del gastrocnemio. Tale contapassi è denominato *Gastrocnemius Expansion Measurement Unit* (GEMU) (8). Il cuore del contapassi è un sensore di forza resistivo, dall’inglese *Force Sensing Resistor* (FSR) che viene posizionato all’altezza del gastrocnemio. È disponibile in due modalità: telemetrica; e con dati scaricabili tramite seriale. Di seguito è illustrata la versione con i dati scaricabili da seriale. La Figura 1 (A-C) illustra per grandi linee i componenti: la cinghia “1”, il sensore “2”, e la posizione del FSR sotto una guaina di gomma “3”. La sezione (D) della Figura 1 indica il posizionamento sul gastrocnemio. La Figura 2 illustra per grandi linee le funzionalità elettroniche; si evidenzia il FSR alimentato, l’alimentazione, e il PIC con il convertitore A/D.

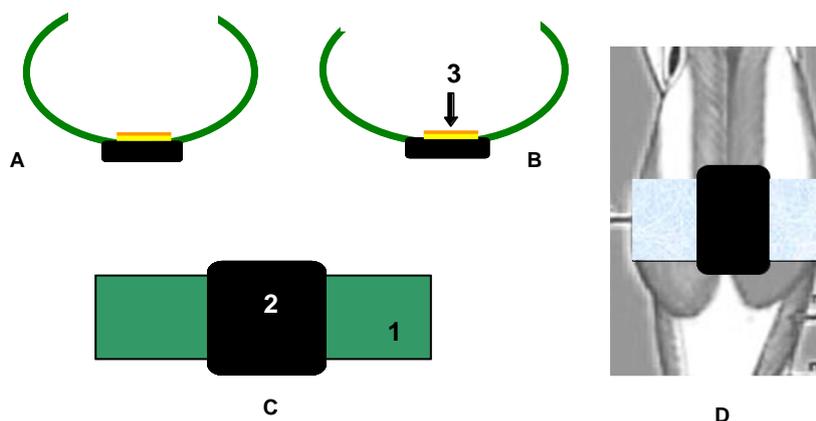


Figura 1. Il contapassi basato sull’espansione del gastrocnemio (GEMU): disegno e fissaggio

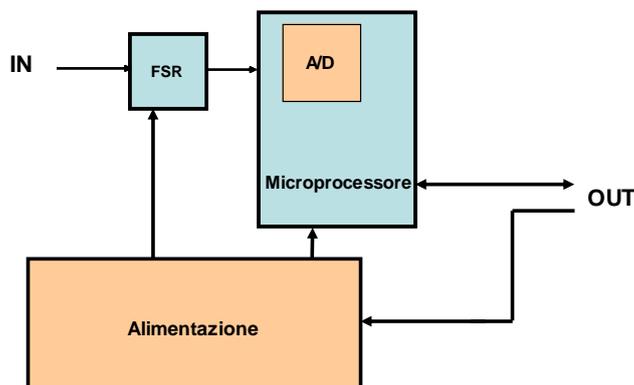


Figura 2. Contapassi basato sull’espansione del gastrocnemio (GEMU): funzionalità elettronica

La Figura 3 illustra i dettagli del posizionamento del FSR. La Figura 4 dettaglia la componentistica elettronica. La Figura 5 illustra il sensore completo di cinghia. La Figura 6 illustra il sensore sull'unità di ricarica.

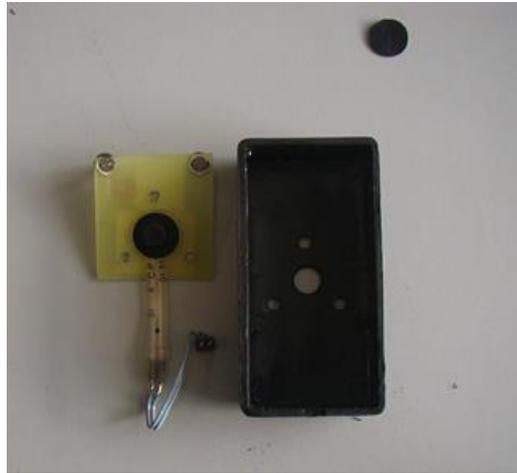


Figura 3. Contapassi basato sull'espansione del gastrocnemio (GEMU): dettagli sul posizionamento dell'FSR



Figura 4. Il contapassi basato sull'espansione del gastrocnemio (GEMU): Componentistica



Figura 5. Contapassi basato sull'espansione del gastrocnemio (GEMU): sensore e cinghia



Figura 6. Contapassi basato sull'espansione del gastrocnemio (GEMU): sensore e unità per la ricarica

Contapassi integrato con ortesi talizzanti

È stato sviluppato un secondo contapassi integrabile su una molla di codivilla e/o ortesi commerciale di tipo talizzante. Tale contapassi si basa su due sensori di forza resistivi posizionati a livello del tallone e della punta del piede tramite una soletta. Tale sensore è denominato *Sensorized Codivilla Spring* (SECOSP) (9). È disponibile in due modalità: telemetrica e con dati scaricabili tramite seriale. Di seguito è illustrata la versione con i dati inviati telemetricamente. La Figura 7 illustra il posizionamento dei sensori FSR "1" e "2" e successivamente il montaggio delle solette su un'ortesi talizzante di tipo commerciale.

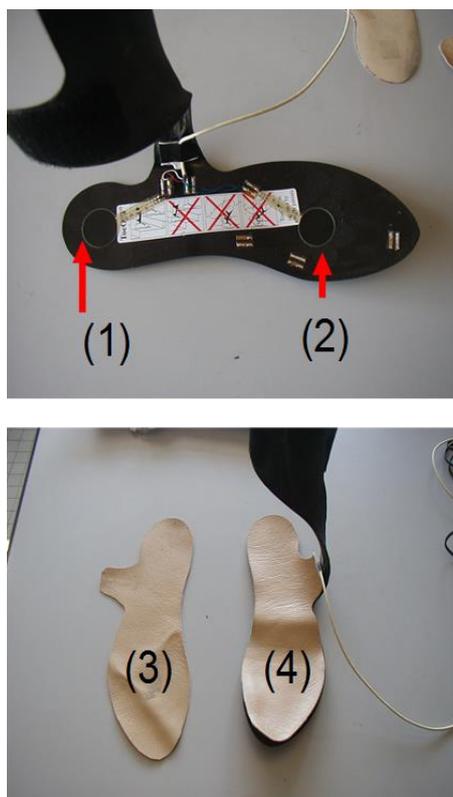


Figura 7. Contapassi SECOSP: posizionamento dei sensori FSR e della soletta

La Figura 8 illustra le componenti. La Figura 9 illustra per grandi linee le funzionalità elettroniche. La Figura 10 illustra le forme d'onda grezze provenienti dai sensori con tre diverse andature.

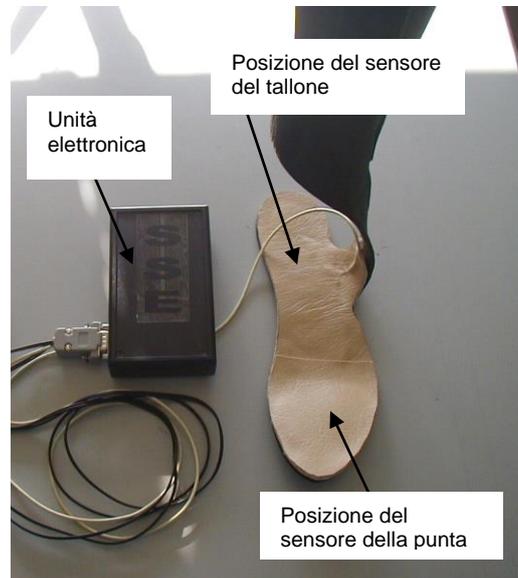


Figura 7. Contapassi SECOSP: componenti

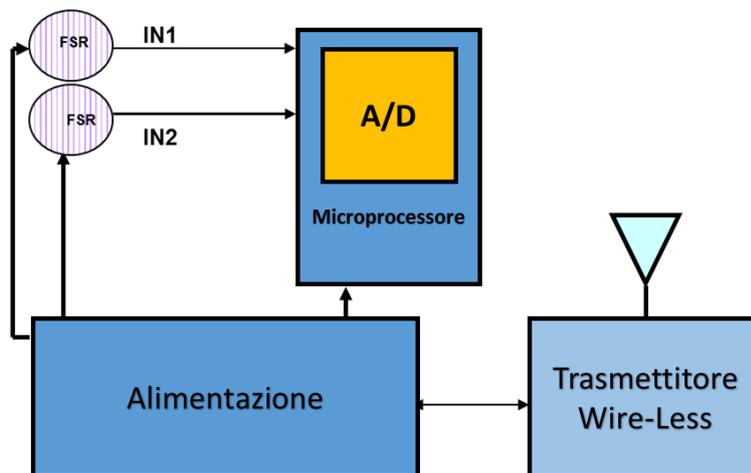


Figura 8. Contapassi SECOSP: funzionalità elettronica

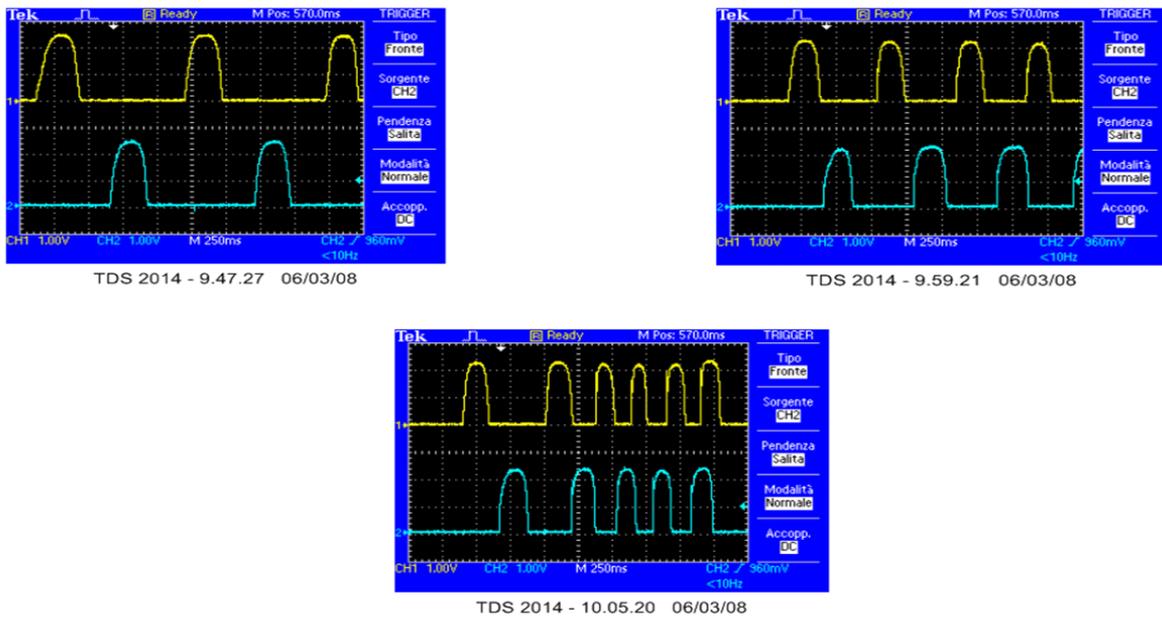


Figura 9. Contapassi SECOSP: forme d'onda a tre andature diverse (lenta/normale/veloce)

Ulteriori contapassi

Sono stati realizzati ulteriori contapassi per finalità scientifiche. Un contapassi basato su accelerometro triassiale è illustrato in Figura 10. Tale contapassi è ricavato a partire da sensore GEMU inserendo un accelerometro opportunamente protetto tramite un contenitore nella parte superiore dell'involucro del dispositivo elettronico (*case*) attraverso un connettore come illustrato nella Figura 11. Può essere posizionato in diversi segmenti della gamba o del braccio.



Figura 10. Contapassi basato su accelerometro per studi di comparazione

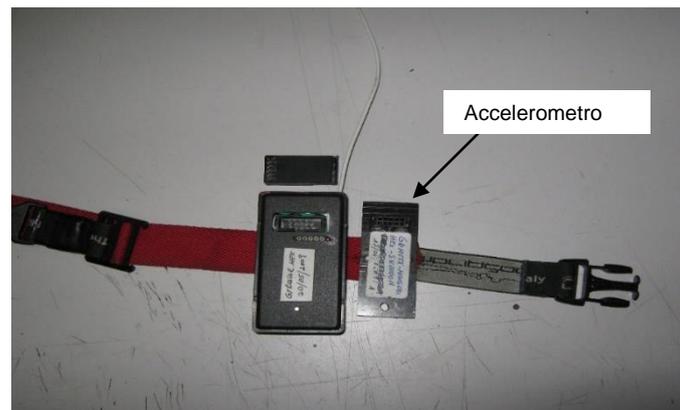


Figura 11. Contapassi basato su accelerometro: dettagli

È stato sviluppato anche un contapassi basato su un sensore di velocità angolare. Tale contapassi è una modifica del sensore denominato GEMU inserendo un sensore di velocità angolare opportunamente protetto tramite un contenitore nella parte superiore del *case* attraverso un connettore. Non si riportano le immagini poiché appare del tutto identico al precedente. Anche quest'ultimo sensore può essere posizionato in diversi segmenti della gamba o del braccio.

SECOSP e GEMU sono stati utilizzati in diverse applicazioni mediche per il monitoraggio di diverse forme di disabilità. Assieme ai due ulteriori contapassi sviluppati rappresentano un kit completo per uno studio sul contapassi ottimale per diverse disabilità cui corrispondono diversi modelli di passo.

Bibliografia

1. Eisenmann JC, Laurson KR, Wickel EE, Gentile D, Walsh D. Utility of pedometer step recommendations for predicting overweight in children. *Int J Obes* 2007;31(7):1179-82.
2. Dasgupta K, Chan C, Da Costa D, Pilote L, De Civita M, Ross N, Strachan I, Sigal R, Joseph L. Walking behaviour and glycemic control in type 2 diabetes: seasonal and gender differences--study design and methods. *Cardiovasc. Diabetol* 2007;15:6-11.
3. Ibright C, Thompson DL. The effectiveness of walking in preventing cardiovascular disease in women: a review of the current literature. *J Womens Health* 2006;15(3):271-80.
4. Tudor-Locke C, Williams JE, Reis JP, Pluto D. Utility of pedometers for assessing physical activity: convergent validity. *Sports Med* 2002; 32(12):795-808.
5. Schneider PL, Crouter SE, Bassett DR. Pedometer measures of free-living physical activity: comparison of 13 models. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(2):331-5.
6. Keenan DB, Wilhelm FH. Classification of locomotor activity by acceleration measurement: validation in Parkinson disease. *Biomed Sci Instrum* 2005; 41:329-34.
7. Giansanti D, Macellari V, Maccioni G. Telemonitoring and telerehabilitation of patients with Parkinson's disease: health technology assessment of a novel wearable step counter. *Telemed J E Health* 2008;14(1):76-83.
8. Giansanti D, Tiberi Y, Maccioni G. Toward the integration of novel wearable step-counters in gait telerehabilitation after stroke. *Telemed J E Health* 2008; 15(1):105-11.

Capitolo 4

TEST DEL CAMMINO E *ANIMAL ASSISTED THERAPY*: NUOVI MODELLI

Daniele Giansanti, Giovanni Maccioni, Mauro Grigioni
Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Introduzione

Stiamo oggi assistendo all'introduzione di regolamenti nazionali e sovranazionali per la tutela degli animali da compagnia, riconoscendogli il grande contributo per il miglioramento della qualità della vita dell'uomo e il valore per la società. Un esempio è la Convenzione europea per i diritti degli animali da compagnia promulgata a Strasburgo il 13 novembre 1987 e recepita in Italia con legge 4 novembre 2010, n. 2001. Stimolati da questi regolamenti stiamo oggi verificando un crescente interesse per la qualità della vita e della salute degli stessi animali da compagnia e all'introduzione di tecnologie per *fitness* e *wellness* anche per gli animali da compagnia. Ci sono, in realtà, molti esempi di dispositivi commerciali progettati con questo nuovo obiettivo per i cani.

Questo nuovo scenario sta mostrando una grande importanza anche nel rapporto con l'*Animal Assisted Therapy* (AAT). Nuovi modelli di AAT che tengono conto di questo approccio si stanno diffondendo. Il nuovo concetto è che "l'uomo supporta l'animale da compagnia e l'animale da compagnia supporta l'uomo". L'attenzione alla qualità di vita degli animali da compagnia, ad esempio motiva l'uomo ad uscire di casa con il cane per una sessione di cammino (la passeggiata nel cane è utile, come per l'uomo, per prevenire l'obesità, aiutare il cuore e prevenire il diabete) e nel contempo la conduzione del cane motiva l'uomo a fare lo stesso esercizio fisico, cioè il camminare, con gli stessi vantaggi per la salute. Il cammino assieme ad un animale da compagnia sta diventando una questione più centrale in AAT.

La conseguenza di questa centralità è la creazione di nuovi modelli di AAT basati sul cammino che comprendano strumenti di monitoraggio e protocolli specifici al fine di investigarne l'efficienza clinica.

È stato ampiamente dimostrato che l'AAT è utile negli anziani (1) o sui bambini (2) per migliorare la salute. Due infatti sono i campi strettamente collegati insieme (1) in cui l'AAT è utile:

1. *psicologico*

Sono stati infatti dimostrati miglioramenti relativi allo stato di ansia, di depressione e di altri disturbi psicologici.

2. *fisiologico*

Sono stati dimostrati miglioramenti della pressione sanguigna, di alcuni parametri del sangue (colesterolo e trigliceridi) e del cuore.

L'attività del cammino in AAT svolge un ruolo positivo nei miglioramenti degli aspetti sopra elencati sia come conseguenza diretta che indiretta.

È già stato dimostrato che gli animali da compagnia, nello specifico i cani, hanno un ruolo centrale nel miglioramento delle prestazioni del cammino. Diversi sono gli studi incentrati sul

miglioramento del cammino grazie alla AAT basata sui cani (1). Un primo studio, ha dimostrato che le persone con i cani hanno più probabilità di camminare attraverso i parchi di individui che non possiedono cani (3). Un'indagine negli Stati Uniti ha rilevato una correlazione positiva tra conduzione di cane e quantità di tempo di percorrenza totale nel cammino (4). In uno studio condotto in Colorado, è stato dimostrato che gli uomini che sono accompagnati da cani camminano per distanze più lunghe ed hanno trigliceridi più bassi (5). Il miglioramento delle capacità di esercizio grazie al cammino con il cane è stato anche dimostrato in alcuni individui utilizzando un ciclo-ergometro (6). L'analisi della letteratura mostra anche la mancanza di una metodologia completa per la valutazione quantitativa durante la deambulazione basata su (a) dispositivi opportunamente progettati (b) sull'applicazione di protocolli idonei e (c) adattati al nuovo modello di AAT descritto nella Figura 1.

Sviluppo di un kit indossabile

È stato progettato un kit in grado di monitorare contemporaneamente il cammino sia del cane che dell'uomo. La Figura 2 mostra i due componenti del kit; il primo è stato progettato per monitorare i passi dell'uomo; il secondo è stato progettato per il monitoraggio dei passi del cane, cioè l'animale da compagnia. Il primo componente, il dispositivo indossabile per l'uomo (DI x M) (Figura 2 D) è lo stesso utilizzato in (7-8), e descritto nel contributo precedente ed è un'unità di misura dell'espansione muscolare del gastrocnemio. L'elemento centrale dell'unità è un sensore di forza resistivo, dall'inglese *Force Sensing Resistor* (FSR) posto a livello del polpaccio. Il secondo componente è il dispositivo indossabile per l'animale da compagnia, in questo caso il cane (DI x C). La Figura 2 A mostra l'apposizione del dispositivo sul corpetto a livello della scapola. La Figura 2 B illustra un particolare relativo alla soluzione di blocco utilizzata nel dispositivo. La Figura 2 C mostra l'unità di ricarica, identica per i due componenti.

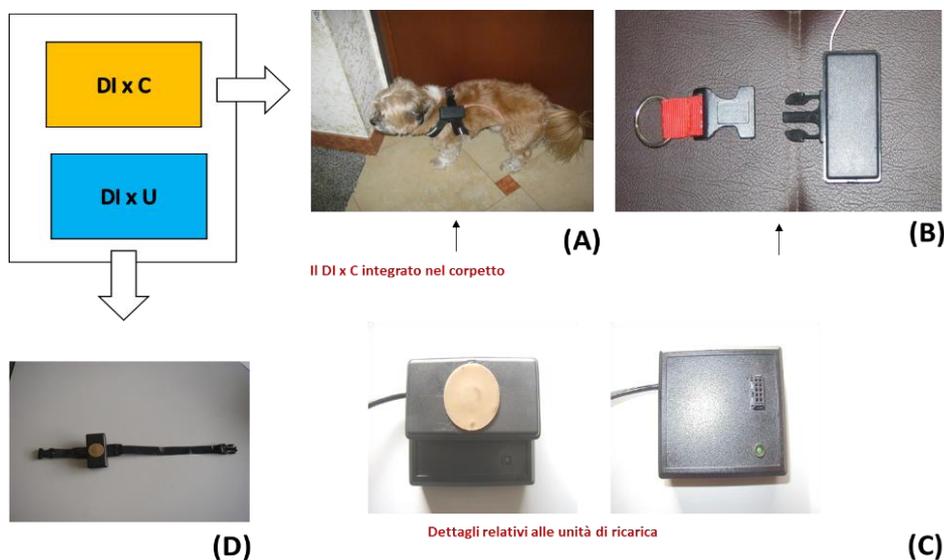


Figura 2. Componenti del kit indossabile

Durante questa prima fase di sperimentazione i due componenti sono stati collegati ad un'unità ricevente mediante una soluzione wireless.

L'unità RX-TX utilizzata nelle due linee di trasmissione è l'unità AUREL XTR-434H (Aurel, Italia). A livello dell'unità di ricezione vi è anche un convertitore A/D NI USB 6008 (National Instruments, USA), che, unisce i due canali Radio e li converte in digitale per il Personal Computer. La Figura 3 mostra l'architettura del kit.

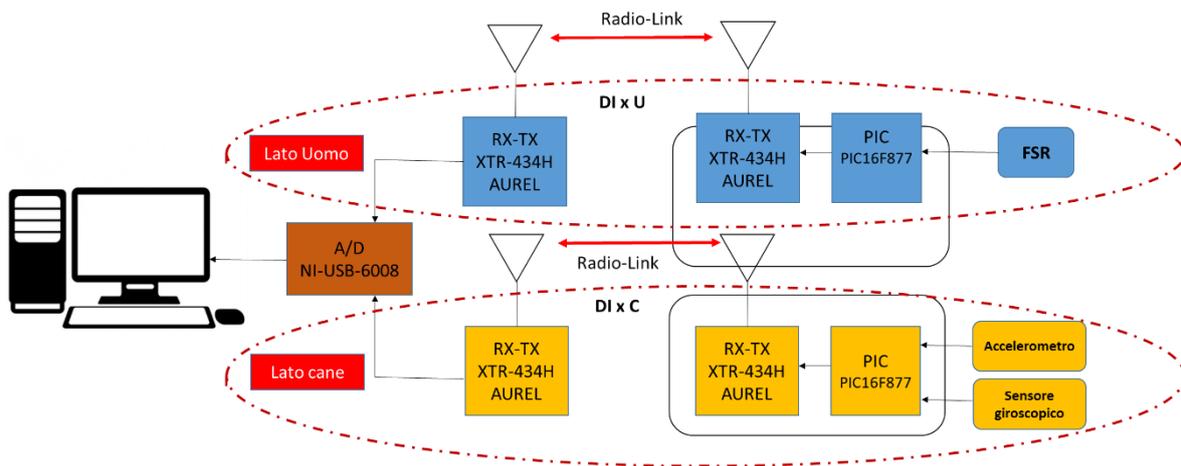


Figura 3. Architettura del kit indossabile

Il DI x U si basa su due sensori:

- Un sensore accelerometro (3031-Euro Sensori, USA) che rileva l'accelerazione durante la deambulazione. Dopo un test preliminare è stato verificato che a livello della scapola del cane i picchi di accelerazione verticale sono più evidenti e correlati agli impatti sul terreno.
- Un sensore giroscopico (Gyrostar ENC-03J-Murata, Giappone) per la misura della velocità angolare, utile per creare medico-conoscenza e per correggere il conteggio dei passi, quando i contributi del trotto e del galoppo aumentano con la velocità.

Una rete neurale dedicata è stata progettata per il rilevamento degli eventi: passo, trotto e galoppo sulla base dei picchi di accelerazione lungo l'asse Z verticale e i picchi di velocità angolare lungo il piano sagittale, con asse di rotazione X.

Il DI x C utilizza il microprocessore PIC16F877 (Microchip, USA) esattamente come l'altro dispositivo DI x U. In questa prima fase di sperimentazione ci siamo concentrati ai cani.

È stato deciso, in questa fase della ricerca, di non separare i "picchi" associati al trotto e al galoppo. Tuttavia:

- Questi sono presenti solo quando il cammino (vero obiettivo dello studio) si trasforma in corsa.
- Le funzioni del sistema consentono anche la loro rilevazione in termini di numero e percentuale.

Applicazione di un protocollo

Il kit è stato testato in un primo *case study* con il seguente protocollo:

1. Sono stati reclutati:
 - un soggetto, maschio sano al primo stadio del test di Tinetti (peso 78 kg/peso; altezza 1,78 m, età 51 anni).
 - un cane meticcio maschio sano (peso 22 kg/peso; altezza al garrese 0,52 m; età 8 anni).
2. Sono state effettuate 10 ripetizioni del test del miglio (9).
3. In ogni prova è stato effettuato il conteggio dei passi.
4. È stato valutato il seguente parametro di correlazione (COR), dove $Nstep(Dog)$ è il numero medio dei passi effettuati dal cane e $Nstep(Human)$ è il numero medio dei passi effettuato dall'uomo.

$$COR = \frac{Nstep(Dog)}{Nstep(Human)}$$

La Tabella 1 illustra i risultati dopo l'applicazione del protocollo.

Tabella 1 Risultati dopo l'applicazione del protocollo

| Soggetto | Tempo | Numero passi medio | Errore medio | Deviazione standard |
|----------|-----------|--------------------|--------------|---------------------|
| Uomo | 16 m 45 s | 2027,2 | 0,4% | 0,1% |
| Cane | "" | 6920,3 | 0,5% | 0,3% |

Il valore registrato del parametro COR è stato di 3,414 e l'errore medio nel conteggio dei passi del cane prima della correzione con il giroscopio è stato uguale a 0,6%.

Lavoro futuro

Lo studio futuro affronterà in primo luogo il disegno e l'applicazione di protocolli in grado di valutare l'efficacia della tecnologia su cani di diversa grandezza (piccola, media, grande e molto grande).

In secondo luogo verrà proposto e applicato un protocollo di ampio respiro per valutare l'efficacia clinica dell'AAT nel cammino. Tale protocollo comprenderà l'applicazione periodica dei test del cammino standard (9) sia su soggetti camminatori con cane in sessioni di AAT, sia su soggetti di controllo.

In terzo luogo la metodologia sarà applicata sui seguenti soggetti che hanno dimostrato ampiamente di rispondere bene alla AAT (1):

- soggetti più anziani;
- soggetti in riabilitazione mentale (es. con depressione e ansia);
- soggetti con insufficienza cardiaca;
- soggetti con ipertensione con/o senza altri fattori di rischio (es. colesterolo e trigliceridi).

Bibliografia

1. Cherniack EP, Cherniack AR. The benefit of pets and animal-assisted therapy to the health of older individuals. *Curr Gerontol Geriatr Res* 2014;2014:623203.
2. İmacı DT, Cevizci S. Dog-assisted therapies and activities in rehabilitation of children with cerebral palsy and physical and mental disabilities. *Int J Environ Res Public Health* 2015; 12(5):5046-60.
3. Temple V, Rhodes R, Higgins JW. Unleashing physical activity: an observational study of park use, dog walking, and physical activity. *Journal of Physical Activity and Health* 2011;8(6):766-74.
4. Reeves MJ, Rafferty AP, Miller CE, Lyon-Callo SK. The impact of dog walking on leisure-time physical activity: results from a population-based survey of Michigan adults. *Journal of Physical Activity & Health* 2011;8(3):436-44.
5. Dembicki D., Anderson J. Pet ownership may be a factor in improved health of the elderly. *Journal of Nutrition for the Elderly* 1996;15(3):15-31.
6. Ruzic A, Miletic B, Ruzic T, Persic V, Laskarin G. Regular dog-walking improves physical capacity in elderly patients after myocardial infarction. *Collegium Antropologicum* 2011;35(Supplement 2):73-5.
7. Giansanti D, Macellari V, Maccioni G. Telemonitoring and telerehabilitation of patients with Parkinson's disease: health technology assessment of a novel wearable step counter. *Telemed J E Health* 2008;14(1):76-83.
8. Giansanti D, Maccioni G, Macellari V, Mattei E, Triventi M, Censi F, Calcagnini G, Bartolini P. A novel, user-friendly step counter for home telemonitoring of physical activity. *J Telemed Telecare* 2008;14(7):345-8.
9. Giansanti D, Maccioni G. The walking tests: from fitness to telerehabilitation. *Telemed J E Health* 2017;23(8):694-6.

Capitolo 5

PROTESI DI ARTO INFERIORE: NUOVI MODELLI PER *FASHION REHABILITATION THERAPY*

Daniele Giansanti (a), Roberta Maurelli (b)

(a) *Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma*

(b) *Italian Society of Orthopaedics Technique Sciences, Roma*

Amputazione dell'arto inferiore: il ruolo della moda

Stiamo vivendo oggi in una società dominata dall'immagine e da nuovi metodi di comunicazione. Un settore esemplificativo di tutto ciò è rappresentato dal settore della moda.

Per comprendere a fondo l'importanza a livello sociale della moda e per spiegare e interpretare le sue dinamiche è fondamentale tenere a mente quattro fattori, rappresentanti il motore trainante, che secondo Renè König (1) sono i seguenti (che nel seguito per brevità chiameremo fattori di König):

- la tendenza dell'uomo a esibire il proprio corpo ornato e decorato;
- la curiosità e il desiderio di esplorare;
- il bisogno di farsi notare;
- la ricerca di una conferma e dell'approvazione da parte del proprio contesto sociale.

Queste necessità sociopsicologiche si esprimono diversamente a seconda del contesto culturale. Per quanto riguarda l'amputazione dell'arto inferiore (2-4) ad oggi i concetti predominanti nella protesizzazione, oltre naturalmente al recupero funzionale sono l'efficacia, l'essenzialità e il "mascheramento assoluto" della disabilità fisica. Tuttavia nuovi modelli di intervento stanno oggi nascendo; grazie infatti alla spinta positiva di cui in (1), ci stiamo sempre più trovando di fronte ad un contesto sociale dove gli amputati desiderano smettere di pensare a ciò che hanno perso e concentrarsi su ciò che hanno guadagnato. Molti soggetti che hanno avuto un'amputazione si stanno avvicinando con questo approccio positivo al mondo della moda. Per loro la moda diventa un nuovo modo di esprimersi e uno strumento di riabilitazione (psicologica e motoria) in quanto quest'ultima può migliorare lo stato di salute generale tramite stimoli psicologici, che in inglese possiamo chiamare *Fashion Rehabilitation Therapy* (FRT). Due esempi di questo nuovo approccio sono rappresentati dal progetto *AmputeeOT* e dal progetto *The alternative Limb project*.

Nuovi modelli di intervento nell'amputazione dell'arto inferiore: *AmputeeOT*

Attraverso i due social network, Facebook (Facebook Corp, USA) e Youtube (Youtube Corp, USA) la terapeuta Christina Stephens di St. Louis, Missouri, fornisce consigli a chi, come lei, ha subito un grave incidente a un piede con relativa amputazione. Il suo video nel 2013, in cui costruisce (e indossa) una colorata protesi con i mattoncini Lego, ha conquistato il mondo (<https://www.youtube.com/watch?v=W8fdXNN0irI>) con quasi 6000000 di visualizzazioni. La protesi sembra funzionare ma lei avverte: "È solo un gioco, non fatelo a casa, non vorrei che

cadiate per colpa mia”. Tuttavia è un esempio di perfetta rispondenza e applicazione dei 4 fattori di König. Attualmente il canale youtube *AmputeeOT* è diventato grazie a questa prima iniziativa, un sito di comunicazione importante in cui Christina racconta la sua esperienza e motiva le persone con problematiche simili. In pratica, giocando con la sua gamba ha attirato l’attenzione di persone che altrimenti non si sarebbero interessate al problema e che invece ora grazie a lei sono informate e formate sulla problematica.

In altre parole ha saputo trovare una strada diversa, molto originale, molto più interessante ma allo stesso tempo validissima, per avvicinare e sensibilizzare la società al mondo della disabilità e soprattutto per “istruire” coloro che per necessità o per piacere volevano avvicinarsi al suo mondo.

Nuovi modelli di intervento nell’amputazione dell’arto inferiore: *The alternative Limb Project*

L’ideatrice del progetto, Sophie de Oliveira Barata, si è laureata al London Arts University in “Special effects prosthetics for film and TV”. Dopo aver studiato effetti speciali per protesi da film e TV, la ricercatrice ha lavorato per otto anni in una compagnia che produceva protesi estetiche realistiche. Nel 2009 ha contattato la cantante modella Viktoria Modesta e l’ha conquistata con la sua idea originale iniziando così una collaborazione sulla protesi “stereo leg”.

La sua idea di partenza si fonda su tutti i concetti sopra espressi dai 4 fattori di König permettendo di dare ai soggetti con amputazione che hanno “perso qualcosa”, la possibilità di esprimere la loro personalità, la loro immaginazione e i loro interessi, in maniera del tutto non convenzionale, proprio partendo dalla loro “perdita” o “mancanza” o “privazione” e allo stesso tempo rompere le barriere sociali, sfidando la percezione del bello e della disabilità finora radicate nella società stessa. L’obiettivo è quello di intendere la protesi più come un accessorio, come un abito o un paio di scarpe, perché ognuno ha un proprio stile. Oltre alla modella-cantante Viktoria Modesta, altre persone, colpite dall’idea hanno deciso di prendere parte al progetto.

Progettazione di protesi per *Fashion Rehabilitation Therapy*

Prima esperienza progettuale

Nel corso della sua formazione universitaria presso il corso di laurea in Tecniche Ortopediche presso l’Università Cattolica del Sacro Cuore, sede di Roma, Roberta Maurelli (coautrice dell’articolo) si è avvicinata alla realizzazione di protesi per il cammino adatte a sfilate di moda per FRT. Una prima realizzazione è stata riportata nella tesi dal titolo *Approccio multidisciplinare nelle tecniche ortopediche: dall’individuazione dell’idea al disegno del progetto* nell’anno accademico 2012-2013 (5). Il lavoro svolto nella tesi parte da uno studio sulla condizione psicologica degli amputati, nei quali, sebbene non sia possibile ricondurre canoni fissi di comportamento, insorgono sentimenti di rabbia, di vergogna, vissuti depressivi e tendenze ad isolarsi e a ridurre le relazioni sociali; soprattutto il percepirsi sfigurati e quindi non mostrarsi se non opportunamente coperti, sono conseguenze dell’instaurarsi di due condizioni psicopatologiche:

- Alterata percezione del sé;
- Alterata percezione dell’immagine corporea.

Quest'ultima è classificata come Disturbo da Dismorfismo Corporeo nel DSM-IV (*Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 4th edition*), ed è quella condizione che sviluppano i soggetti che hanno una vera e propria visione distorta della realtà e concentrano la loro attenzione solo su alcuni segmenti corporei (es. anoressici).

Lo stesso meccanismo si attua nell'amputato, che riduce tutta la sua fisicità esclusivamente sul moncone d'amputazione escludendo selettivamente il resto del corpo.

Tenendo presente che risulta fondamentale una buona integrazione della protesi per la riuscita del percorso riabilitativo, appare ovvio che la soddisfazione per la protesi è un elemento non trascurabile in quanto si correla con bassi livelli di disturbo dell'immagine corporea, pena il non utilizzo della protesi e il fallimento dell'intero percorso riabilitativo.

Il lavoro di tesi ha concluso che l'introduzione della moda nel mondo delle protesi può ridurre le problematiche psicologiche così da garantire una buona integrazione paziente-protesi e soddisfare tutte le esigenze sociali e comunicative descritte all'inizio. La tesi riporta pure una realizzazione di protesi "alla moda". La Figura 1 mostra una coppia di queste protesi in dettaglio. Gli elementi chiave di questa prima implementazione (5) sono l'integrazione dei piedi in carbonio della OSSUR (Reykjavík, Islanda) e l'applicazione di cristalli Swarovsky (Wattens, Austria) agli involucri eseguita dall'azienda Mirholux (Locate Varesino, CO, Italia). Gli involucri sono stati progettati con il supporto dell'Ortopedia Pirola di Monza, dove sono state eseguite le lavorazioni e la messa a punto del manufatto. Tale protesi è indossata da Giusy Versace, campionessa paraolimpica, conduttrice televisiva italiana, famosa anche per l'impegno nel settore (6) essendo fondatrice dell'associazione Disabili No Limits Onlus, di cui è presidente dal 2011, che nelle gare di atletica utilizza il piede protesico in carbonio della Ossur. Gli obiettivi, che tra l'altro sono stati raggiunti alla perfezione, sono:

- non tralasciare il fattore estetico come di solito avviene privilegiando l'essenzialità all'estetica;
- rappresentare in maniera personale chi indossa le protesi;
- garantire una perfetta funzionalità.



Figura 1. Protesi con cristalli Swarovsky

Esperienze progettuali successive

Successivamente alla precedente esperienza la coautrice R. Maurelli si è cimentata su questo settore della realizzazione di protesi per il cammino per moda.

Un primo ulteriore sviluppo è la realizzazione della protesi per moda di Chiara Bordi (Figura 2), una ragazza sedicenne di Tarquinia che ha perso la gamba sinistra in un brutto incidente. Con una protesi alla gamba, realizzata per lei da Roberta Maurelli, Chiara continua a collezionare soddisfazioni nel mondo della moda, dopo le sfilate di Miss Italia regionale è poi passata a quelle relative ai circuiti di Miss Mondo. Parallelamente Chiara si sta cimentando anche nello sport (100 m) ed ha ripreso la danza, sua passione. La protesi è color argento con un inserto in pizzo su una maglia metallica ed è stata realizzata con la collaborazione dell'Ortopedia Protesi Ortopediche Romane (Roma).



Figura 2. Protesi con un inserto in pizzo su una maglia metallica: vista esterna e interna

Una seconda realizzazione (Figura 3) è una protesi bordeaux, completamente rivestita in pizzo e cucita a mano con pietre preziose e borchie, realizzata nella Ortopedia Maurelli (Campobasso); usa come sistema di collegamento al moncone il DVS (*Dynamic Vacuum System*) dell'Ottobock (Duderstadt, Germania), sistema molto interessante e innovativo in quanto crea un vuoto attivo con un costante effetto pompa dell'aria durante tutte le fasi del passo, rendendo la protesi più confortevole e permettendo così una migliore distribuzione dei carichi su tutto il moncone.



Figura 3. Protesi con sistema DVS: vista esterna e interna

Il progetto dedicato a queste realizzazioni di Protesi per FRT di R. Maurelli, dal titolo “FTA, Fashion Therapy Amputee” ha vinto il premio *Orthopedic Awards* sezione *Giovani e innovazione* che si è tenuto durante la fiera EXPO Sanità 2016 a Bologna.

Bibliografia

1. König R. *Il potere della moda*. Napoli: Liguori; 1992.
2. Cavallari G, Costantino C. *Amputazione. Protesi e riabilitazione*. Roma: Edizioni Ermes; 1999.
3. Engstrom B, Van der Ven C. *Terapia per gli amputati*. Roma: Editore Delfino; 2007.
4. Stinus H, Baumgartner R. *Ortesi e protesi del piede*. Roma: Editore Verduci; 2003.
5. Maurelli R. *Approccio multidisciplinare nelle tecniche ortopediche: dall'individuazione dell'idea al disegno del progetto*. [tesi]. Roma: Università Cattolica del Sacro Cuore; 2012/2013.
6. Versace G. *Con la testa e con il cuore si va ovunque*. Roma: Mondadori Editore; 2013.

Capitolo 6

VERSO LA PROGETTAZIONE DI STRUMENTI AUTOMATICI PER IL MONITORAGGIO DEL CAMMINO

Daniele Giansanti, Giovanni Maccioni, Sandra Morelli, Mauro Grigioni
Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Importanza dei test del cammino eseguiti su campo

Come già illustrato in precedenza, i test del cammino ripresi in questo capitolo possono essere eseguiti sia su campo sia in laboratorio. Nel secondo caso è necessario l'utilizzo del tapis roulant che permette di far camminare o correre il soggetto facendolo rimanere fermo in un punto. L'uso del tapis roulant presenta però dei limiti che potrebbero andare ad influenzare i risultati del test eseguito. Si elencano i principali limiti individuati:

– *Impossibilità di cambiare rugosità*

La rugosità è una proprietà della superficie di un corpo ed è rappresentata dalle micro-imperfezioni geometriche presenti sulla superficie, che si presentano generalmente in forma di solchi o scalfitture, di forma, profondità e direzione variabile. Tale proprietà non riguarda soltanto la superficie di un oggetto ma anche le superfici su cui normalmente camminiamo e ci muoviamo. Naturalmente la rugosità di tali superfici è influenzata dal materiale di cui esse sono costituite. Quindi, se il test viene eseguito su campo, a seconda della rugosità della pista sul quale il soggetto si muove, si possono ottenere risultati differenti. Stessa cosa non vale nel caso in cui il test venga eseguito con il tapis roulant, in quanto non esiste una funzione che ci permetta di cambiare la rugosità della superficie del nastro su cui il soggetto deve muoversi. Quindi, nel caso in cui si ritenga rilevante il fattore rugosità nell'influenzare i risultati del test, è opportuno che questo venga eseguito su campo, su diverse superfici, in maniera tale di vedere in che modo i risultati cambiano al variare della rugosità stessa.

– *Impossibilità di impostare traiettorie*

La traiettoria è il percorso lungo cui si muove il soggetto. Quando un soggetto si muove su campo, questo ha la possibilità di scegliere tra più percorsi: per esempio potrà camminare lungo una traiettoria rettilinea oppure lungo una traiettoria dove a tratti rettilinei si alternano curve. Tale scelta non può essere effettuata quando si utilizza il tapis roulant. Infatti in tal caso, il soggetto si muoverà restando fermo in un unico punto e quindi il movimento potrà seguire soltanto una traiettoria rettilinea.

– *Rischio di un modello di attività fisica falsato*

Correre (o camminare) su tapis roulant risulta essere più semplice rispetto alla stessa attività motoria effettuata su campo. Questo per differenti motivi. Innanzitutto una volta trovato il giusto equilibrio correre sul tapis roulant è più facile in quanto a causa dell'elasticità di ritorno la velocità che si riesce a tenere su nastro è sicuramente maggiore di quella sul terreno: da ciò nasce la difficoltà di controllo della corsa da parte di atleti molto veloci. Inoltre tale fenomeno è accentuato anche per l'assenza dell'aumento della resistenza dell'aria con la velocità di corsa.

Altra differenza fra corsa sul tapis roulant e corsa su campo è che nella prima c'è la mancanza di una buona parte della spinta in avanti, quindi l'atleta deve solo opporsi alla direzione di scorrimento del nastro e ciò implica un minor impegno cardiorespiratorio. Inoltre la spinta in avanti fornita dal movimento del nastro può indurre ad un movimento falsato: per esempio il soggetto può mettere una gamba avanti e lasciare che l'altra si muova passivamente sulla spinta fornita dal tapis roulant stesso, oppure si può avere un movimento non naturale del soggetto in quanto questo, muovendosi su un nastro che scorre, non riesce a scegliere il ritmo del passo e la frequenza della camminata.

Tutti questi motivi possono andare ad influenzare i risultati dei test eseguiti con questo strumento. È quindi opportuno che vengano tenuti in considerazione quando tali risultati vengono analizzati.

Proposta di un kit per il monitoraggio del cammino

I test del cammino, come è noto, possono essere eseguiti facilmente senza dover disporre di attrezzature sofisticate e costose. L'importanza che essi ricoprono nel campo medico e sportivo ha spinto comunque la ricerca di soluzioni tecnologiche semplici che possano essere utilizzate per il monitoraggio del test durante l'esecuzione e che permettano quanto segue:

- Raccolta in maniera automatica di parametri che vengono misurati durante il test. Tale obiettivo è molto importante in quanto, anche se i parametri di interesse possono essere raccolti facilmente senza strumentazioni particolari (es. basta un semplice metro per misurare la distanza percorsa oppure un cronometro per valutare il tempo impiegato per l'esecuzione dell'esercizio), una raccolta non automatica comporta una maggior probabilità che vengano commessi errori (es. nell'effettuazione delle misurazioni o nella trascrizione dei dati quando queste vengono affidate ad una persona).
- Esecuzione di protocolli in modo standard affinché i dati vengano raccolti sempre nelle stesse condizioni e seguendo le stesse procedure.
- Invio in maniera automatica dei dati raccolti ad altri sistemi (es. database per la memorizzazione della storia clinica del paziente o dell'atleta oppure sistemi di telemedicina).
- Esecuzione dei protocolli in modo da superare tutti quei limiti sopra elencati che si incontrano nell'eseguire i test del cammino in laboratorio usando il tapis roulant.

È proprio tenendo conto di ciò che nasce il kit strumentale, progettato e realizzato dall'Istituto Superiore di Sanità, per l'esecuzione del test del cammino.

Il kit strumentale utilizzato nella sperimentazione, nasce dall'evoluzione del kit presentato nel *Rapporto ISTISAN 10/16 (1)*. Per questo motivo le due strumentazioni sono molto simili sia nella parte hardware che in quella software. Il kit descritto di seguito nasce per l'esecuzione di test del cammino, in particolare per il test del miglio e il test dei 6 minuti. Una prima differenza che si può notare è che, mentre nel kit precedente il percorso da seguire è di forma lineare, in questo secondo kit esso ha una forma circolare. Tale forma è stata scelta in maniera tale da non avere un percorso di lunghezza limitata e quindi permettere al soggetto che si sottopone al test di camminare per l'intervallo di tempo previsto, nel caso di test dei 6 minuti, senza avere limitazioni

di spazio oppure, nel caso del test del miglio, di avere un percorso di lunghezza un miglio senza occupare uno spazio troppo grande.

La Figura 1 illustra il percorso, la posizione di una coppia di fotocellule e i due parametri r -curva e d_{FC} che sono utilizzati per definire in modo flessibile il percorso.

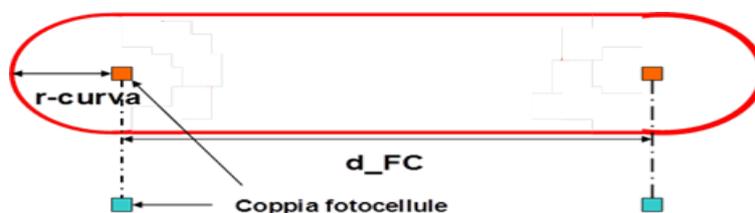


Figura 1. Percorso per i test del cammino sensorizzato

Hardware

L'unità hardware è composta dai seguenti componenti:

– *Due coppie di fotocellule*

Sono posizionate lungo il percorso di forma circolare ad una distanza precisa che deve essere data in input al software prima di iniziare il test. Servono per rilevare il numero di giri effettuati e quindi la distanza percorsa durante il test e il tempo impiegato grazie all'ausilio di un timer.

– *Una unità centrale*

È connessa via USB ad una scheda di conversione analogico/digitale e agli altri componenti del kit. Si occupa dell'elaborazione dei dati raccolti.

– *Contapassi*

In questo secondo kit l'uso del contapassi è opzionale. Nel caso in cui venga utilizzato, anch'esso sarà connesso via telemetria all'unità centrale sia per la raccolta dei dati sia per la ricarica della batteria. Come nel kit precedente anche in questo caso si possono usare differenti modelli di contapassi.

– *Scheda National NI USB 6008 (National Instruments Corp, USA)*

Collega l'unità centrale ad un PC in cui è installato il Software della National.

La Figura 2 illustra l'unità centrale che è connessa con le altre componenti del kit che provvede alle seguenti funzioni:

- misura in tempo reale del numero dei passi riportati su un display;
- ricarica il contapassi;
- elabora i dati grezzi (temporizzazioni, conteggio dei passi, attraversamenti delle fotocellule);
- si interfaccia con un pc per inviare i parametri attraverso la scheda National Instruments.

Nell'esempio mostrato è installato un contapassi descritto precedentemente in questo studio.

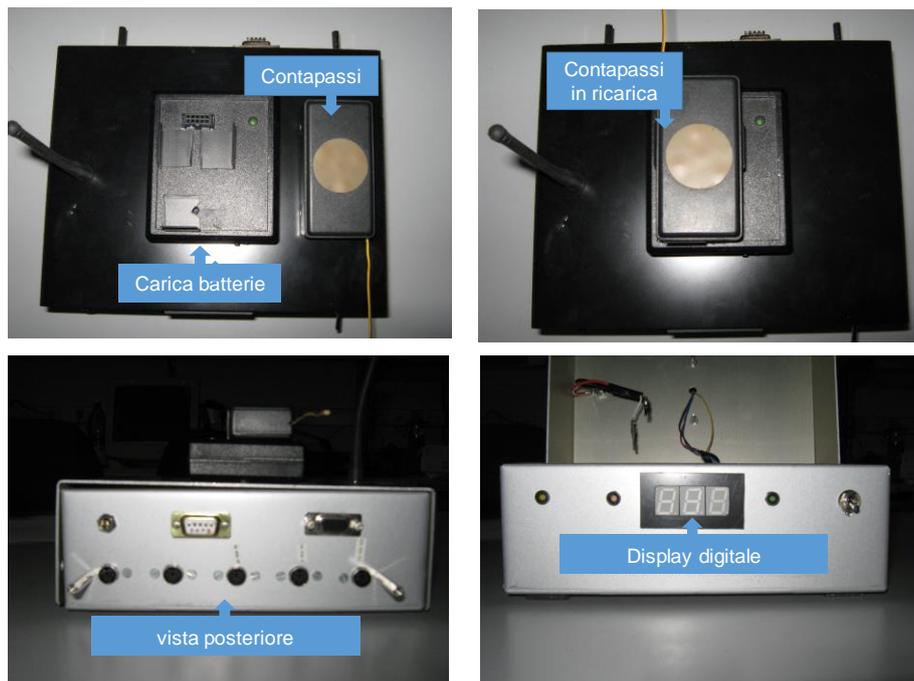


Figura 2. Dettagli sull'hardware

Software

Il modulo software sviluppato presenta una interfaccia grafica verso l'utente che ne facilita l'utilizzo. Anche questo programma, come quello del kit strumentale descritto nel *Rapporto ISTISAN 10/16* (1) e ulteriori evoluzioni (2-3), è stato sviluppato usando il linguaggio di programmazione LabVIEW (National Instruments Corp, USA). La Figura 3 illustra il pannello di avvio e di selezione del test.



Figura 3. Pannello di controllo principale

I 3 pulsanti di controllo sono:

- AVVIA TEST: tale pulsante serve per avviare il test e quindi far iniziare la sessione di misurazione;
- CLOSE: esso serve per chiudere l'applicazione principale;
- HELP: esso serve per aprire una finestra contenente un aiuto descrittivo dell'applicazione.

Il menu a tendina invece, permette all'utente di scegliere il test che vuole eseguire. La scelta può essere fatta tra due opzioni: test del miglio oppure test dei 6 minuti (Figura 4).

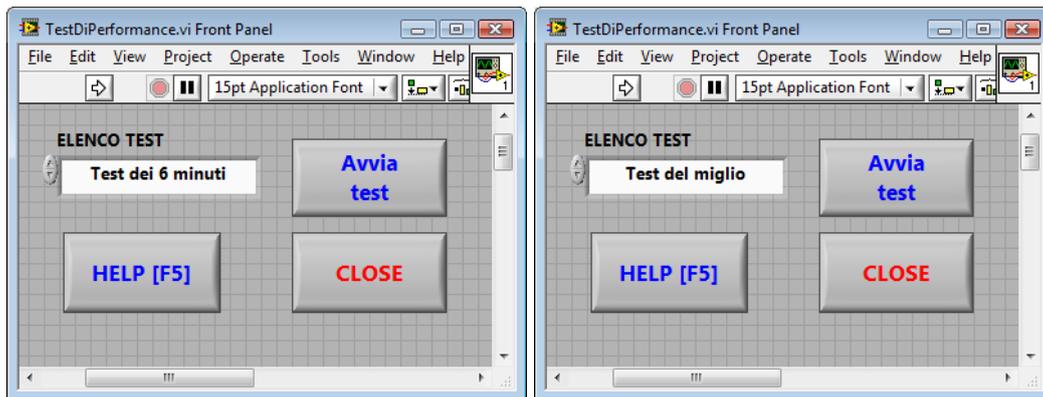


Figura 4. Pannello di controllo principale, *differenti scelte* del test

Quando si preme il pulsante AVVIA TEST viene aperta la seconda finestra di controllo. In tale finestra, prima di avviare la sessione di misurazione, il software richiede di inserire il nome del paziente (Figura 5) e di impostare i parametri (Figura 6) d_{FC} (distanza tra le due fotocellule) espressa in metri e r_{curva} (raggio della curva del percorso che il soggetto dovrà eseguire) anch'esso espresso in metri.



Figura 5. Finestra di avvio test, richiesta di inserimento nome paziente

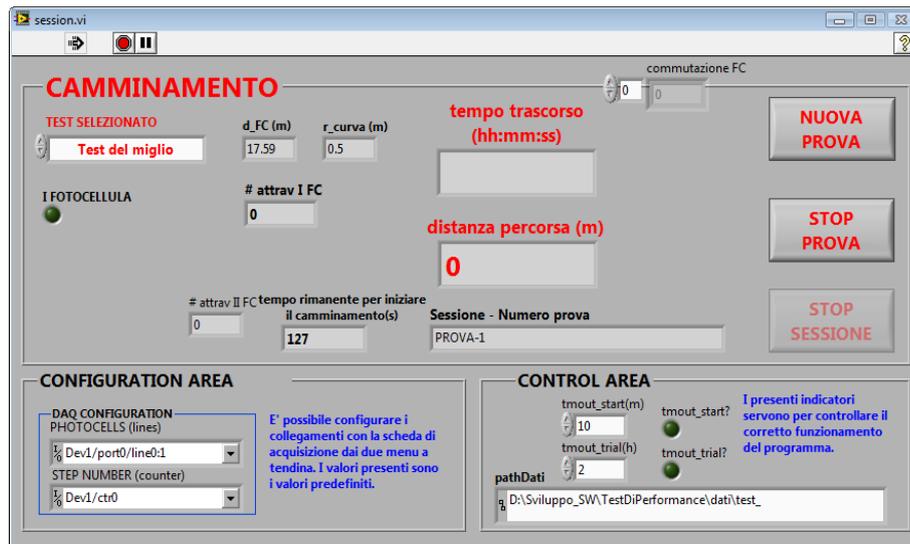


Figura 6. Finestra di avvio test, impostazione dei parametri

Impostati tali parametri il test può incominciare. Durante il test, la finestra “session.vi” mostra istante per istante i parametri che vengono misurati, ovvero il tempo trascorso, la distanza percorsa e il numero di passaggi davanti la fotocellula, come mostrato in Figura 7. Oltre ai parametri misurati, nella finestra sono presenti anche 3 pulsanti:

- NUOVA PROVA: serve per avviare una nuova prova, in quanto una stessa sessione di misurazione può prevedere diverse prove;
- STOP PROVA: serve per terminare la prova corrente;
- STOP SESSIONE: serve per terminare la sessione. Una volta premuto, i dati raccolti durante la sessione vengono forniti nel file dati riportato in Figura 7.

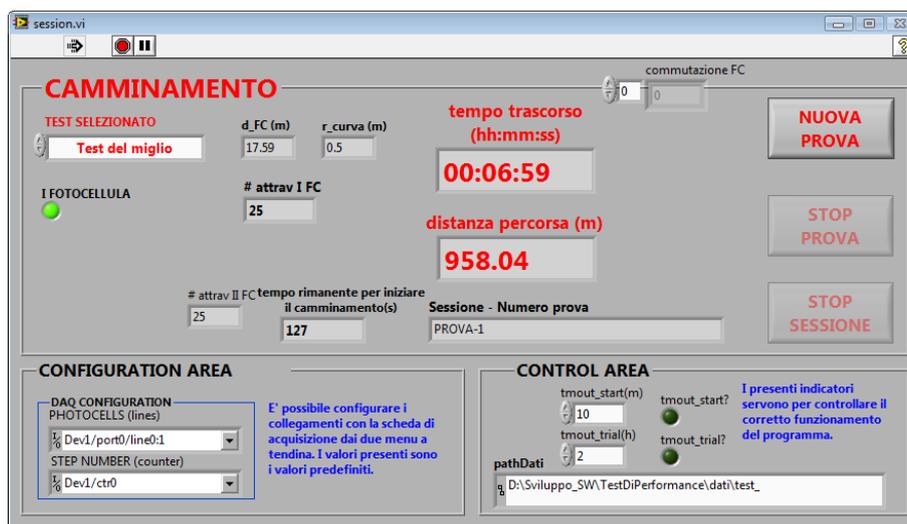


Figura 7. Dettaglio sui parametri misurati durante l'esecuzione del test

Il test termina, nel caso in cui si stia eseguendo il test del miglio, quando il parametro distanza percorsa è pari a 1609,51 metri (ovvero esattamente un miglio, come mostrato in Figura 8) oppure, nel caso in cui si stia eseguendo il test dei 6 minuti, quando il parametro tempo trascorso è pari a 6 minuti.

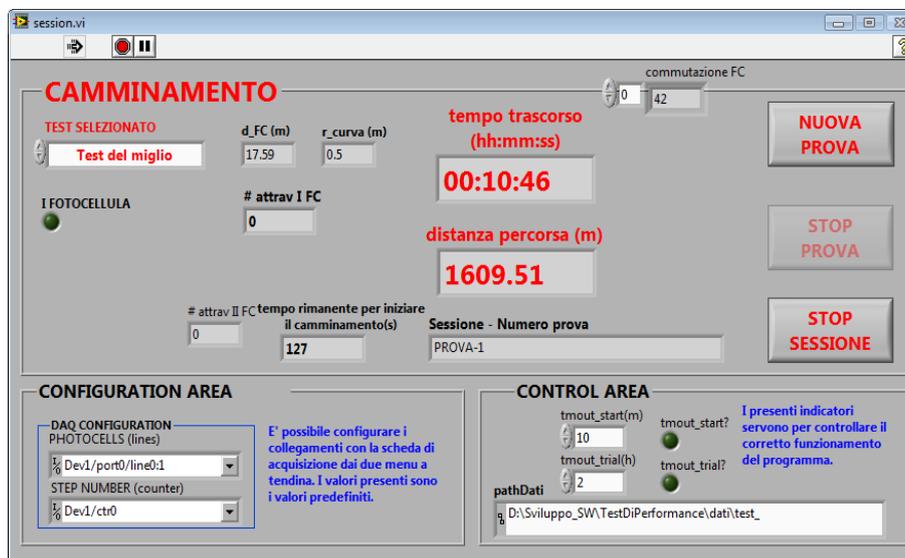


Figura 8. Interfaccia alla fine del test del miglio

Ad ogni sessione di misura è associato un file dati in cui si riportano tutte le informazioni e le misure effettuate durante la sessione. Un esempio di tale file dati è riportato in Figura 9. In esso vengono riassunte tutte le informazioni registrate durante la prova ovvero:

- nome del paziente;
- data e ora di inizio della sessione;
- valori dei parametri da impostare prima della prova (distanza tra le fotocellule e raggio del percorso);

Per ogni prova effettuata, l'ora di inizio e i valori finali dei parametri monitorati durante la prova stessa (tempo di esecuzione, distanza percorsa, numero di passaggi davanti la fotocellula). Inoltre vengono riportate anche le distanze intermedie e i tempi intermedi.

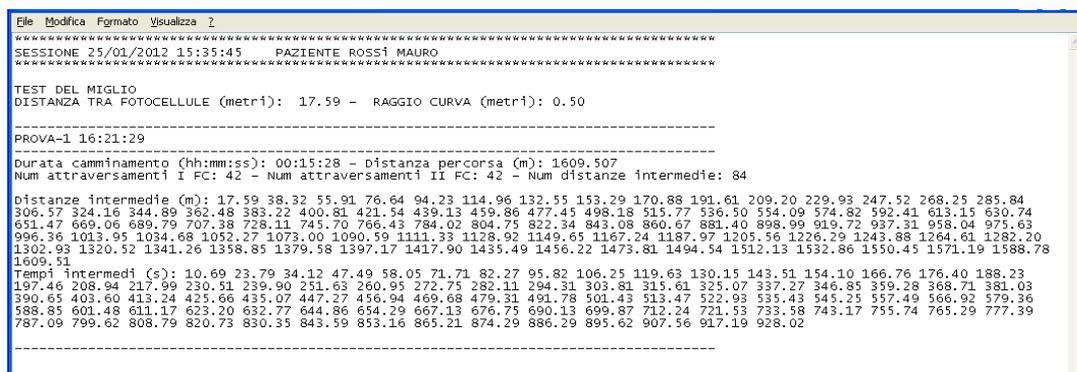


Figura 9. Interfaccia alla fine del test del miglio

Bibliografia

1. Giansanti D, Morelli S, Maccioni G, Giordano A, Tamburella F, Molinari M, Silvestri S, Calabrese S, Macellari V, Grigioni M. *Design and construction of a portable kit for the assessment of gait parameters in daily-rehabilitation*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2010. (Rapporti ISTISAN 10/16).
2. Giansanti D, Morelli S, Maccioni G, Brocco M. Design, construction and validation of a portable care system for the daily telerehabilitation of gait. *Comput Methods Programs Biomed* 2013;112(1):146-55.
3. Giansanti D, Morelli S, Maccioni G, Grigioni M. Portable kit for the assessment of gait parameters in daily telerehabilitation. *Telemed J E Health* 2012;19(3):224-32.

Capitolo 7

APPLICAZIONI PER IL MONITORAGGIO DEL CAMMINO SULLO SMARTPHONE: TENDENZE EMERGENTI

Daniele Giansanti (a), Moira Costantini (b), Maria Rosaria Giovagnoli (b), Giovanni Maccioni (a), Mauro Grigioni (a)

(a) Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma

(b) Università Sapienza, Facoltà di Medicina e Psicologia, Roma

Introduzione

Le problematiche relative all'uso dei dispositivi tipo "mobile" sono infinite; vanno dalla sicurezza, alla qualità, alla privacy e non solo, sono talmente numerose che il processo di regolamentazione è stato definito "Regolamentare l'infinito" da Greta Baldani nel 2014 (1). Il capitolo affronta tali problematiche sia in modo generale che specifico per le applicazioni (APP) per il monitoraggio del cammino previa considerazione di alcune APP facilmente reperibili.

Problematiche dell'utilizzo dei dispositivi di tipo "mobile"

L'introduzione dello strumento dell'*e-health* è ormai una realtà che investe trasversalmente tutti gli aspetti del Servizio Sanitario Nazionale (SSN).

L'*e-health* rappresenta in generale:

- uno strumento di equità sociale dato che porta la diagnosi e la cura a casa del paziente.
- uno strumento di minimizzazione dei costi, in conseguenza diretta dell'informatizzazione.

Le APP medicali (1-2) che rappresentano un elemento di punta della mobile-health (*m-health*) in telemedicina sono strumenti che stanno procedendo in questa direzione.

L'introduzione e la diffusione delle APP in *m-health* (3) pone tuttavia importanti riflessioni su aspetti relativi a: corretta formazione e informazione degli utenti; facile reperibilità; privacy; rischio dell'aumento della cosiddetta autocura del paziente (con le problematiche connesse); truffe; qualità delle applicazioni e adeguatezza ai regolamenti; e, in generale, utilizzo non corretto (es. quando si usa un dispositivo non medico come se lo fosse), solo per citare i punti principali.

Sguardo alle APP per l'analisi del cammino

Sono state analizzate delle APP disponibili sullo "Store" di Windows Phone (Microsoft Corp. Washington, USA), con particolare attenzione a quelle gratuite poiché di facile accessibilità. È stato utilizzato un Lumia modello 535, Nokia (Nokia Corp, Osakeyhtiö, Finlandia) per effettuare un'analisi sulle APP relative al monitoraggio del cammino. Il Lumia utilizzato ha naturalmente le funzionalità di base che comprendono in particolare l'attivazione di un accelerometro senza il quale sarebbe stato impossibile utilizzare le funzionalità relative al conteggio dei passi. Sono state

pertanto analizzate diverse APP con poliedriche funzionalità quali:(a) il monitoraggio del consumo calorico, (b) della cinematica e (c) della traiettoria sulle mappe interattive. Sono stati effettuati nello studio i seguenti passaggi:

Sullo “Store” di Windows è stata lanciata una ricerca delle APP per l’analisi del cammino utilizzando diverse chiavi di ricerca quali “run” “running” “walk” “walking” “runner”.

Una prima segmentazione ha riguardato le APP gratuite per il *fitness*. L’obiettivo è stato quello di fare una breve analisi per iniziare ad evidenziare alcune tendenze comuni. Attraverso l’utilizzo dell’approccio proposto sono state individuate diverse APP dalle quali è stato possibile evidenziare delle tendenze comuni per quanto riguarda il monitoraggio di alcuni parametri (velocità, distanza, traiettoria, consumo metabolico, conteggio dei passi).

Tendenze emergenti dall’analisi delle APP

Analisi effettuata

Tali APP sono state analizzate in un percorso interno all’ISS. In particolare sono state analizzate sia le informazioni disponibili in rete sia le funzionalità disegnate per:

1. monitoraggio velocità;
2. distanza e parametri collegati;
3. traiettoria su mappa;
4. consumo metabolico;
5. contapassi (sia simulato che basato su accelerometro interno).

Naturalmente non si è trattato di un *bench-mark* (né nella scelta né nell’analisi si è mai avuto l’obiettivo di trovare il *best of the bunch*) che richiederebbe una presenza e una partecipazione di più figure professionali, ma di un test di tipo generale per esaltare le caratteristiche e tendenze.

Compaiono i blogger

Per quanto riguarda le informazioni disponibili in rete una tendenza che è emersa per questa categoria, come per altre APP, è la nascita dei cosiddetti blogger delle APP similmente a quanto accade in settori completamente diversi tipo la cucina. Siti che con una recensione o non recensione possono fare la fortuna/sfortuna di una APP. Nel caso specifico del cammino/corsa è agevole dimostrare come diversi siti hanno l’ambizione, attraverso anche l’uso di questi blogger, di elencare le presunte migliori. Gli autori, astenendosi da commenti e/o giudizi che sarebbero del tutto inappropriati, evidenziano l’elevato stadio di diffusione del fenomeno attraverso il web.

Prime evidenze

Per quanto riguarda le funzionalità da un punto di vista generale si evidenzia che:

- alcune APP mostrano nella versione gratuita delle funzionalità di tipo limitato espandibile con l’acquisto di una versione *full*;
- tutte risultano *user-friendly*;
- nessuna ha mostrato criticità per le funzioni 1-5 sopra riportate e prese in considerazione.
 - l’analisi del consumo metabolico è approssimata e rimane sempre indicativa seppur migliorabile in funzione di parametri inseribili o eventuali kit di integrazione.

La Figura 1 illustra la ricostruzione delle traiettorie con alcune APP sorteggiate tra quelle analizzate.

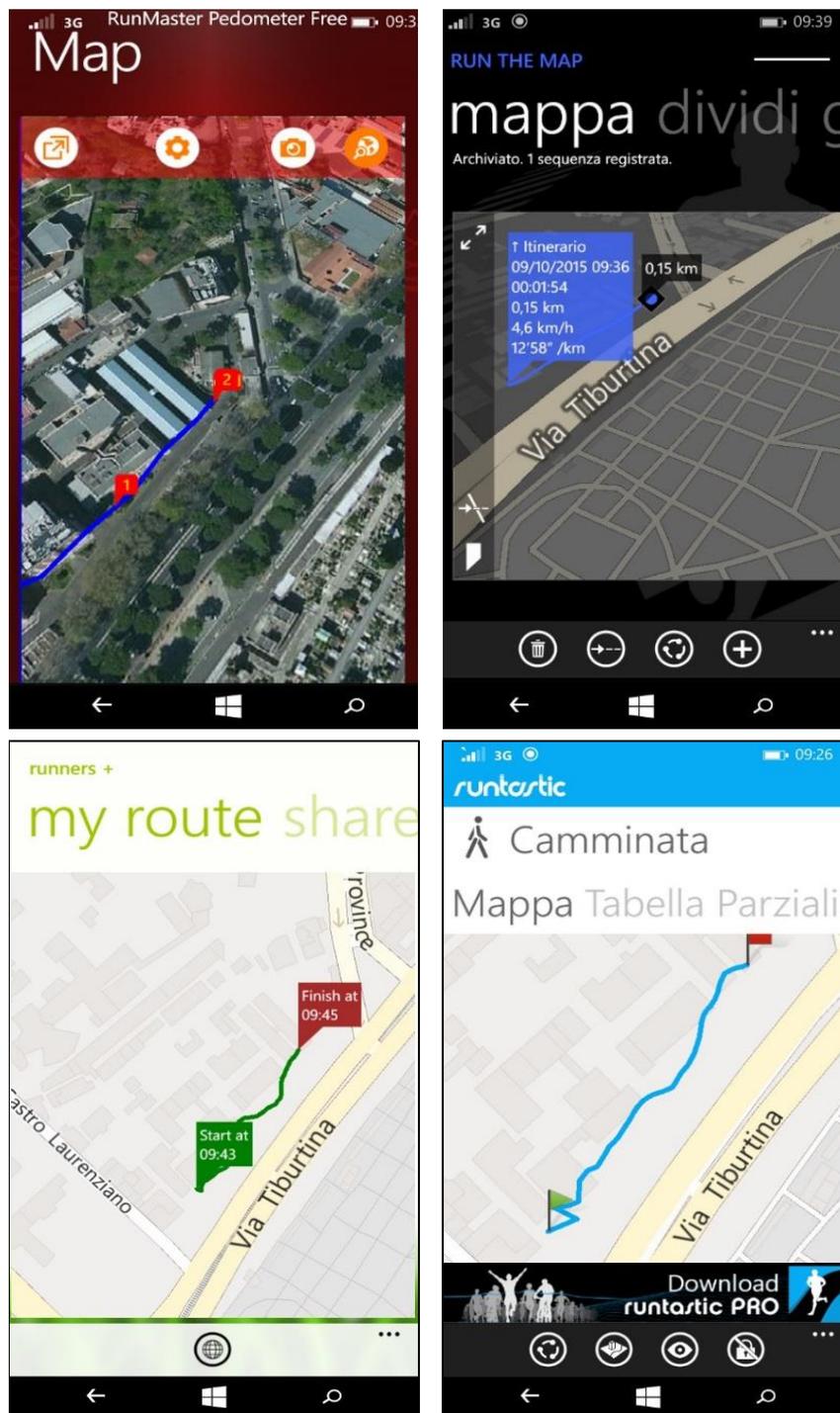


Figura 1. Alcuni esempi di ricostruzione delle traiettorie con alcune APP

È del tutto evidente che le APP che abbiamo considerato sono destinate al *fitness* (non alla riabilitazione) (4), e quindi non sono dispositivi medici che avrebbero necessitato certificazione CE. In riferimento queste APP si evidenzia che:

- chiunque può installarle sul proprio *smartphone* senza avere competenze mediche specifiche;
- l'indicazione di qualificazione è il gradimento di chi l'ha installata sotto la forma di numero di stelline;
- chiunque può acquistare e installare dei kit hardware di integrazione (laddove previsti) alla APP disponibili in commercio tipo cardiofrequenzimetri senza avere competenze mediche specifiche;
- non può essere esclusa la possibilità che l'APP sia usata per la riabilitazione dal cittadino medio (es. cardiologica/motoria/respiratoria) pur non essendo destinata a tal fine non essendo dispositivo medico (4);
- tutti i dati forniti non sono sperimentati per dedurre indicazioni mediche.

Emergono pertanto dall'analisi importanti considerazioni sul rischio relativo ad un utilizzo non conforme di questa categoria di APP (qui destinate al *fitness* e non qualificate come dispositivi medici).

Il presente lavoro rappresenta uno studio preliminare e continuerà focalizzandosi sul rapporto tra riabilitazione motoria e APP medicali, dal cammino alla stabilizzazione posturale.

Bibliografia

1. Baldani G. Regolamentare l'infinito: la sfida della Food and Drug Administration. *Salute e Società* 2014;3:171-5
2. Macellari V, Fouilloouze O, Genzini GF. *APP medicali nella borsa del medico: quando le App per la salute sono dispositivi medici*. Milano: Il sole 24 ore; 2015.
3. Giansanti D (Ed.). *Imaging diagnostico ed e-health: standardizzazione, esperienze e prospettive*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2017. (Rapporti ISTISAN 17/10).
4. Giansanti D. Introduction of medical apps in telemedicine and e-health: problems and opportunities. *Telemed J E Health* 2017;23(9):773-6.

CONCLUSIONI

Daniele Giansanti, Mauro Grigioni

Centro Nazionale Tecnologie Innovative in Sanità Pubblica, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Il rapporto si è focalizzato su diversi aspetti connessi al rapporto tra cammino e salute affrontando in dettaglio i seguenti punti:

- revisione della letteratura relativa ai test del cammino maggiormente utilizzati riportando per ognuno le equazioni per il calcolo del massimo consumo di ossigeno correlato al consumo metabolico.
- analisi dei più importanti indici utilizzati per la valutazione del consumo metabolico.
- analisi dei contapassi innovativi sviluppati presso l'ISS assieme ad un'analisi delle nuove metodiche di monitoraggio automatico di alcuni test del cammino.
- approfondimento delle nuove problematiche emergenti dall'uso di APP per gli *smartphone* specifiche per il monitoraggio del cammino;
- analisi di nuovi settori scientifici emergenti correlati a quello del cammino quali la riabilitazione dell'amputato con protesi innovative e la riabilitazione del cammino attraverso l'*Animal Assisted Therapy*.

Da un punto di vista generale il lavoro ha da un lato analizzato quello che è lo stato dell'arte sui test del cammino, dei relativi algoritmi per la stima del massimo consumo d'ossigeno e degli indici proposti per la stima del carico dell'attività fisica, dall'altro ha proposto nuove metodiche per il monitoraggio di tali test basate su:

- contapassi innovativi particolarmente performanti sui disabili;
- kit con hardware e software per l'esecuzione automatica di due test (miglio e 6 minuti).

Non sono stati trascurati i nuovi settori tecnologici emergenti dell'*Information and Communication Technology* degli *smartphone* e della riabilitazione in generale che si stanno muovendo in questo ambito.

Nello specifico il lavoro propone agli addetti ai lavori e agli stakeholder nuove metodiche e problematiche emergenti stimolandoli in particolar modo per quanto riguarda l'utilizzo della bioingegneria nella riabilitazione e nella disabilità in numerosi settori che vanno dalla medicina dello sport fino alle tecniche ortopediche in problematiche mediche che vanno dalla valutazione delle performance tramite test del cammino alla valutazione del rischio del paziente cardiopatico, in riabilitazione post ictus e polmonare.

Come primo valore aggiunto il lavoro mette a disposizione degli addetti ai lavori una revisione dello stato dell'arte dei test del cammino e degli algoritmi per la stima del massimo consumo di ossigeno e degli indici per il monitoraggio del consumo metabolico utilizzati per l'individuazione della forma fisica.

Come secondo valore aggiunto il lavoro mette a disposizione due contapassi innovativi per il monitoraggio dei passi, particolarmente adatti a soggetti con disabilità assieme a dei contapassi più tradizionali basati su accelerometri e sensori di velocità angolare. Tale kit di contapassi può essere utilizzato (a) sia in diverse disabilità neuromotorie e in diversi settori quali, a titolo di esempio non esaustivo, la medicina sportiva, la medicina riabilitativa e le tecniche ortopediche,

(b) sia per il monitoraggio laddove i contapassi commerciali non sono indicati e per l'individuazione del contapassi "ottimo".

Il terzo valore aggiunto è dato dal kit automatico per l'esecuzione dei test del cammino in modalità da campo superando quei limiti dati dall'utilizzo da esempio del tapis roulant. Tale kit automatico presenta inoltre diverse prospettive interessanti ad esempio per quanto riguarda le potenzialità di domiciliazione e pertanto per la domotica e/o la tele-riabilitazione. È potenzialmente ad esempio possibile eseguire il test dei sei minuti a casa quotidianamente con l'invio di report ad operatori in *e-health* quali il terapista o il fisiatra o il cardiologo, consentendo al tempo stesso un monitoraggio continuo ed efficace e un miglioramento della qualità della vita dei soggetti coinvolti nei processi di riabilitazione.

L'integrabilità di tale kit ad esempio con altri dispositivi per il monitoraggio di ulteriori parametri fisiologici (con modalità del tutto equivalenti ad esempio a quelle descritte nel *Rapporto ISTISAN 10/16*) rappresenta un quarto valore aggiunto. Ad esempio:

- accelerometri e altri sensori per l'analisi motoria potrebbero essere di grande utilità per completare anche in remoto l'analisi del movimento del soggetto coinvolto ad esempio in percorsi riabilitativi a casa.
- altri sensori, quali il misuratore della saturazione di ossigeno potrebbero essere utili sia per individuare delle classi di rischio durante l'esecuzione del test, come ad esempio il test dei 6 minuti per i soggetti in riabilitazione respiratore sia per interrompere il test in caso di superamento di soglie predeterminate.

Il quinto valore aggiunto è dato dall'esplorazione della realizzazione di sistemi pionieristici utili nel cammino quali kit per il monitoraggio durante le sessioni di *Animal Assisted Therapy* o protesi dell'arto inferiore per *Fashion Rehabilitation Therapy*.

Il sesto valore aggiunto è rappresentato dall'aver fatto emergere agli stakeholder la problematica delle applicazioni o APP per *smartphone* per il monitoraggio del cammino. Queste pur non essendo dispositivi medici possono essere infatti liberamente utilizzate anche per destinazioni d'uso non previste quali riabilitazione, con i conseguenti rischi.

Il settimo valore aggiunto è rappresentato dall'aver fatto emergere agli stakeholder l'approccio utilizzato negli USA per motivare e incentivare l'attività fisica attraverso la messa in rete sui canali WEB di documentazione scientifica alla portata di tutti e di stimolo, si vedano ad esempio il *Compendium of physical activities* e le *2008 Physical Activity Guidelines for Americans*.

*Serie Rapporti ISTISAN
numero di novembre 2017, 4° Suppl.*

*Stampato in proprio
Settore Attività Editoriali – Istituto Superiore di Sanità*

Roma, novembre 2017