

Wearable technology applicata al monitoraggio quotidiano di parametri biomedici

Prof. Sandro Fioretti
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Università Politecnica delle Marche



Wearable Technology

Sensori indossabili e generalmente posti in opportune “posizioni” sono in grado di:

- ✓ raccogliere segnali biologici e/o dati di movimento
- ✓ trasmettere i dati raccolti con opportuni protocolli di comunicazione;
- ✓ effettuare alcune pre-elaborazioni in tempo reale
- ✓ garantire efficienza, affidabilità, correttezza, usabilità e accettabilità

Gold Standard Technology (non wearable)



Gait analysis:

Smart Elite system – BTS
GAITrite



Posturography:

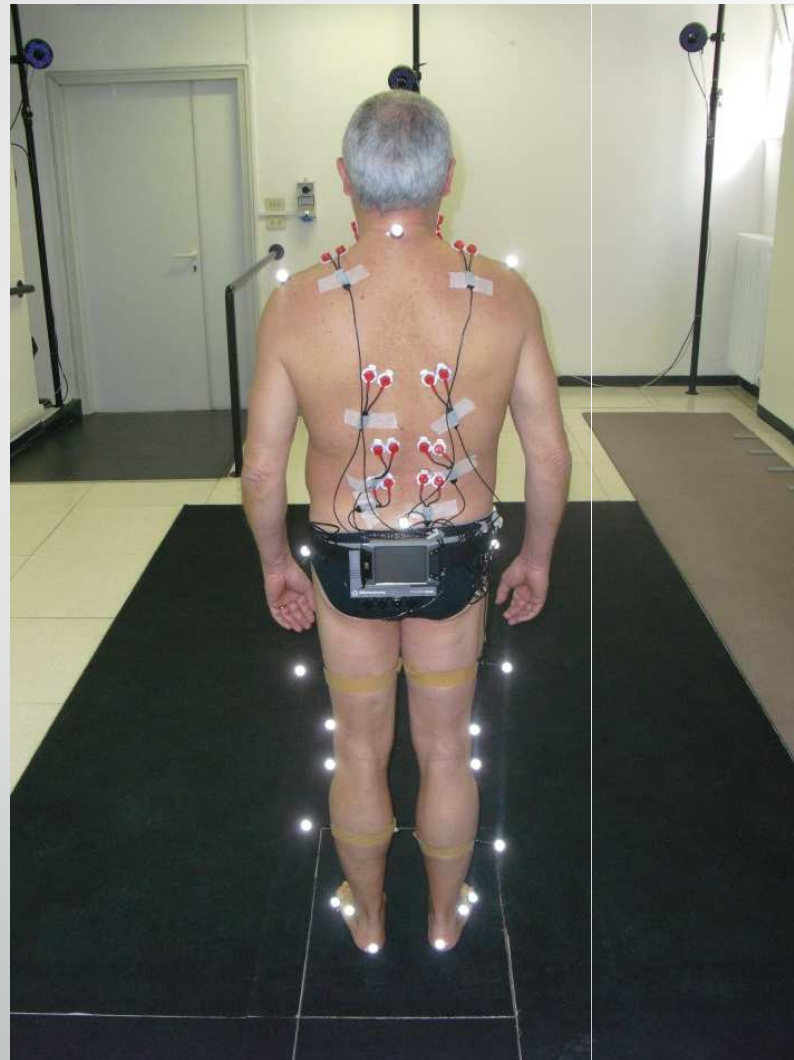
- dynamometric force-platform

Dynamic EMG:

- TELEMG – BTS 16 channels



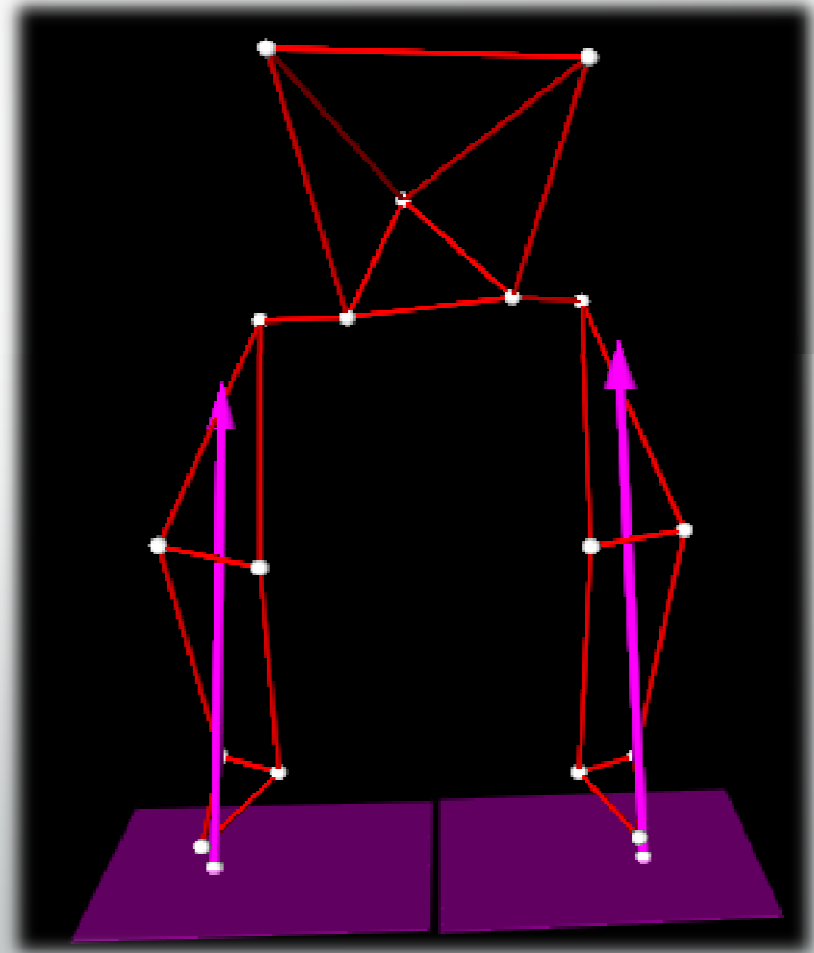
Gold Standard Technology *(non wearable)*



Esempio di protocollo complesso per l'analisi della Sindrome di Pisa in soggetti Parkinsoniani:

- Cinematica
- Dinamica
- EMG

Gold Standard Technology (non wearable)



Wearable Technology

Misurano:

✓ segnali biomedici

{ ECG
EMG
HR



Tessuti sensorizzati
Sensori indossabili

✓ dati di movimento

{ posizione
velocità
accelerazione



Accelerometri
Giroscopi
Magnetometri
(IMU)

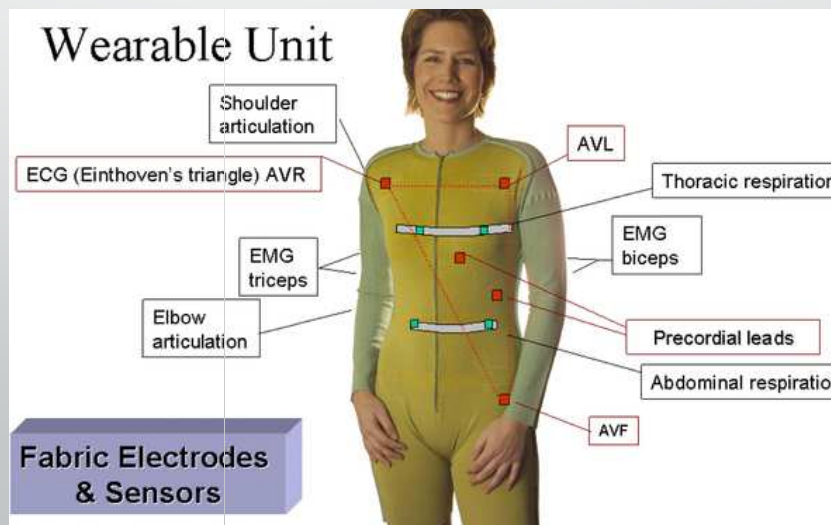
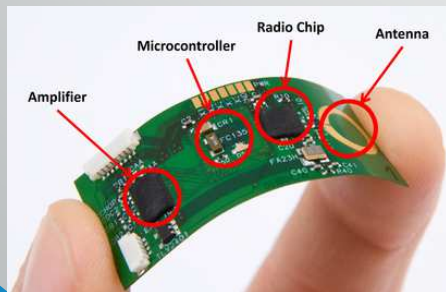
1. Segnali biomedici

Sensori:

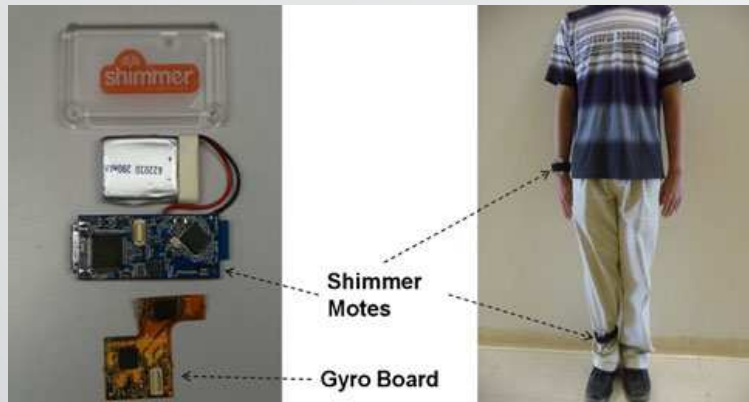
- ✓ Elastomeri conduttivi con effetti piezoresistivi
- ✓ Termocoppie
- ✓ Schede flessibili con sensori miniaturizzati, microprocessori e trasmettitori
- ✓ Cardiofrequenzimetri

Tessuti:

- ✓ Substrato con proprietà di leggerezza, aderenza e elasticità



2. Dati di movimento



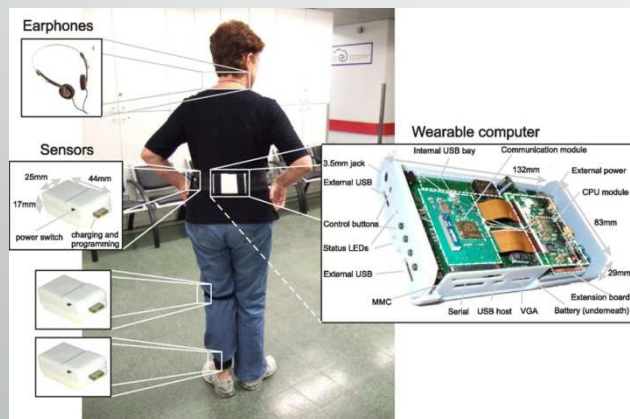
Varkey et al. 2011



Y. Zhao e al. 2012



Dijkstra e al., 2010



Moore et al, 2006



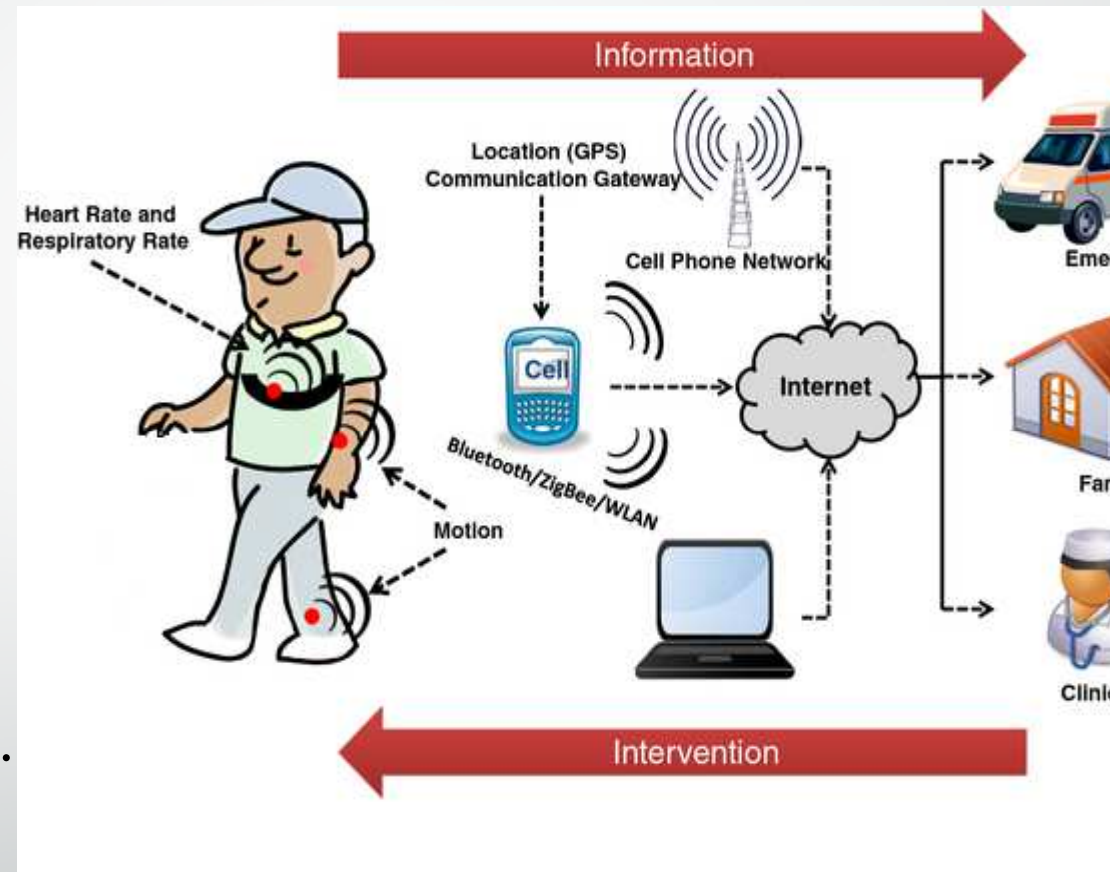
Mazilu S et al. (2012)



Hocomo, Switzerland

Wearable Technology

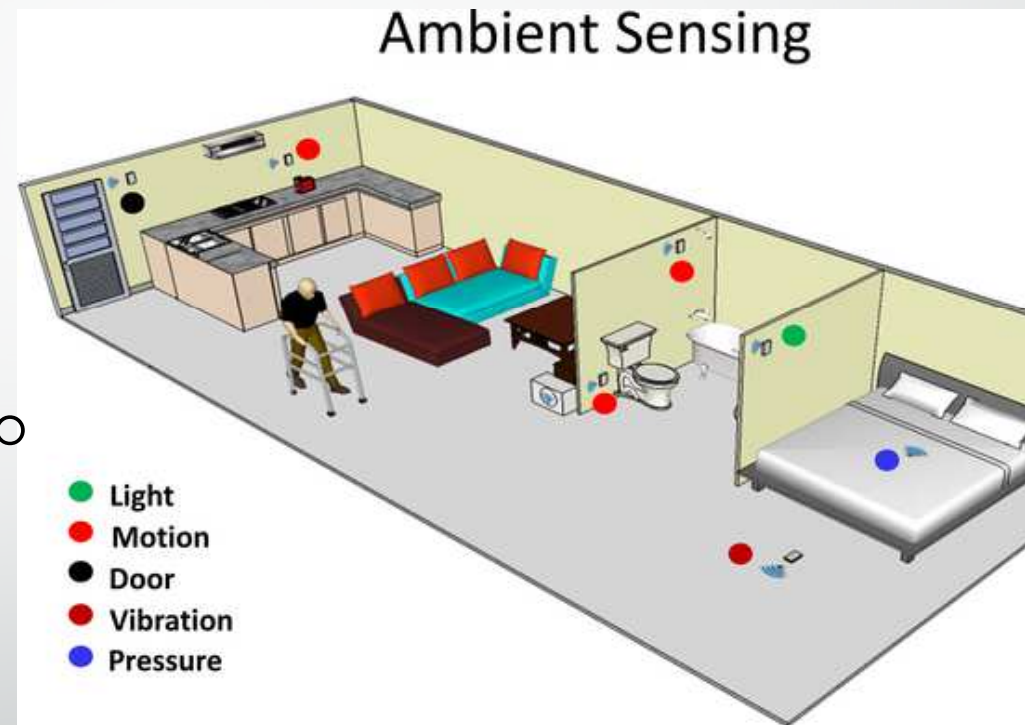
- 1- **Sensori** posizionati in opportuni siti dipendenti dal **problema clinico**
- 2- **Comunicazione wireless** per la **trasmissione dei dati** verso un telefonino, un access point e tramite internet ad un centro remoto
- 3- Il **sistema** elabora le **informazioni**. Emergenze individuate automaticamente **Segnalazioni** inviate al **centro clinico** di riferimento



Wearable Technology

Vantaggi

- ✓ indossabili in ambienti DL opportunamente predisposti (domotica)
- ✓ consentono il monitoraggio continuo
- ✓ generalmente hanno ingombro ridotto
- ✓ il microprocessore (presente nei sistemi) consente la gestione e l'elaborazione dei dati per ottenere informazione clinicamente rilevante



Wearable Technology

Per quali applicazioni



- ✓ Monitoraggio di anziani, di soggetti con patologie croniche in casa o in ambienti familiari per il soggetto
- ✓ Riabilitazione domiciliare; Valutazione dell'efficacia di un trattamento
- ✓ Individuazione di segni iniziali di disordini motori
- ✓ Monitoraggio dello stato di salute degli sportivi e delle loro performance

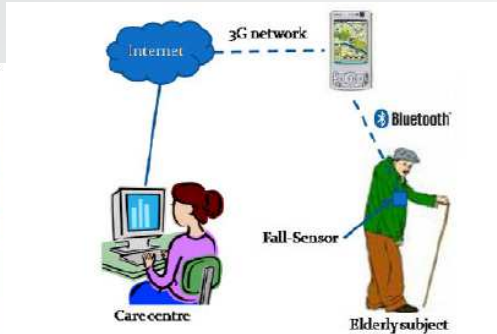
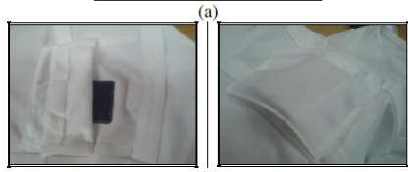
Wearable Technology

Per quali applicazioni



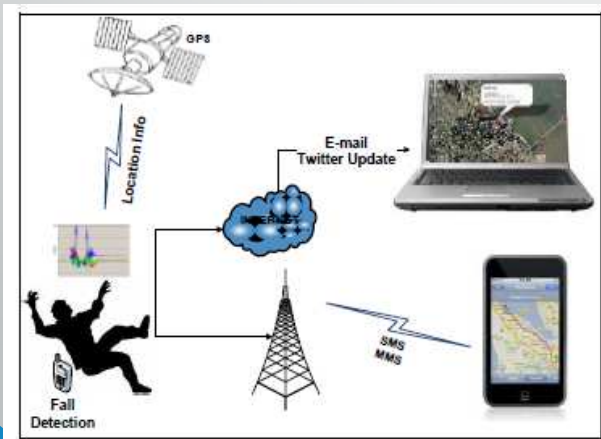
- ✓ Monitoraggio di anziani, di soggetti con patologie croniche in casa o in ambienti familiari per il soggetto
- ✓ Riabilitazione domiciliare; Valutazione dell'efficacia di un trattamento
- ✓ Individuazione di segni iniziali di disordini motori
- ✓ Monitoraggio dello stato di salute degli sportivi e delle loro performance

Wearable Technology: Monitoraggio di anziani



Accelerometro triassiale nell'indumento.
Algoritmo di soglia per riconoscere la caduta.

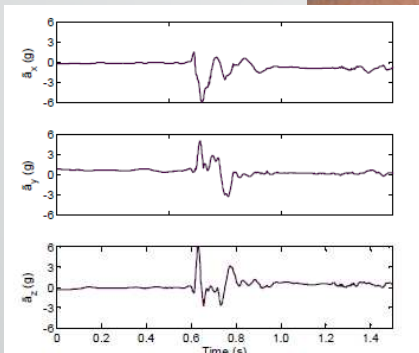
Eventi riconosciuti 99%. Bassa percentuale di eventi correttamente segnalati al centro di riferimento



Accelerometro triassiale dello smartphone
Messaggio di allerta e localizzazione con GPS del soggetto.

95% di precisione

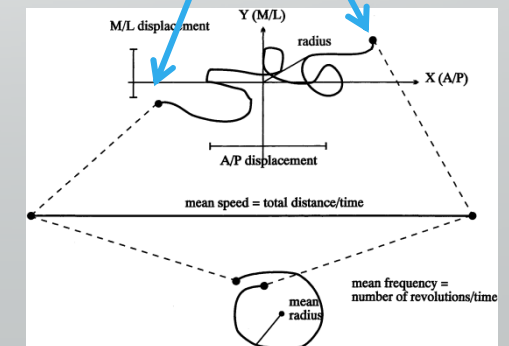
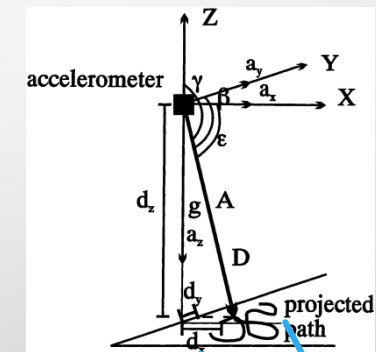
Wearable Technology: Monitoraggio di anziani



Orologio da polso con **accelerometro** triassiale, **microprocessore**, **memoria per lo storage dei dati**, **allarme automatico**

Accelerometro triassiale sulle spalle all'altezza del centro di massa.

Studio della postura eretta con la valutazione di 5 parametri posturali (**Spostamento AP e ML del COP**, **mean speed**, **mean frequency** e **mean radius**).



Wearable Technology

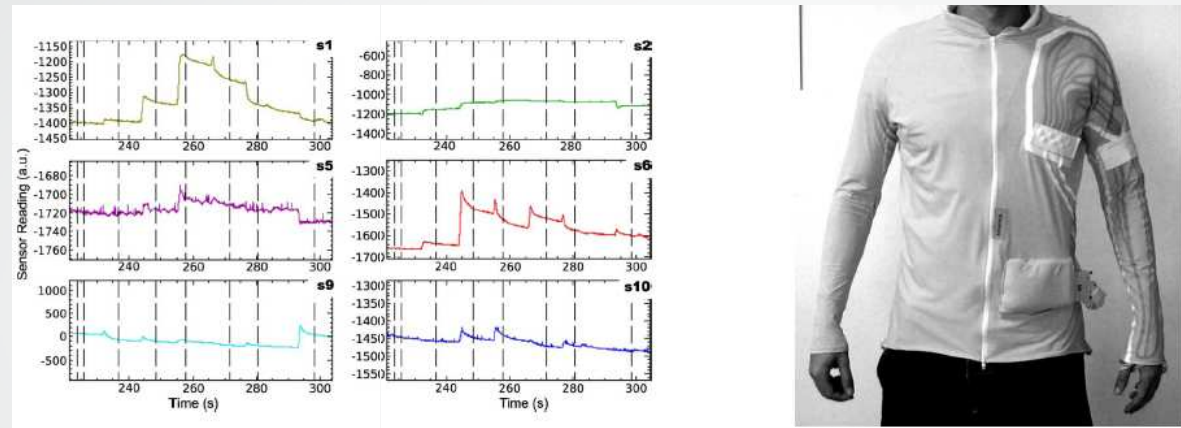
Per quali applicazioni



- ✓ Monitoraggio di anziani, di soggetti con patologie croniche in casa o in ambienti familiari per il soggetto
- ✓ Riabilitazione domiciliare; Valutazione dell'efficacia di un trattamento
- ✓ Individuazione di segni iniziali di disordini motori
- ✓ Monitoraggio dello stato di salute degli sportivi e delle loro performance

Wearable Technology: Riabilitazione; valutazione dell'efficacia di un trattamento

Elastomeri conduttivi
Tessuto sensorizzato
per riabilitazione in
ambienti domestici.



Sulla base della deformazione prodotta vengono stimate le entità del movimento del tronco e della parte superiore del corpo.

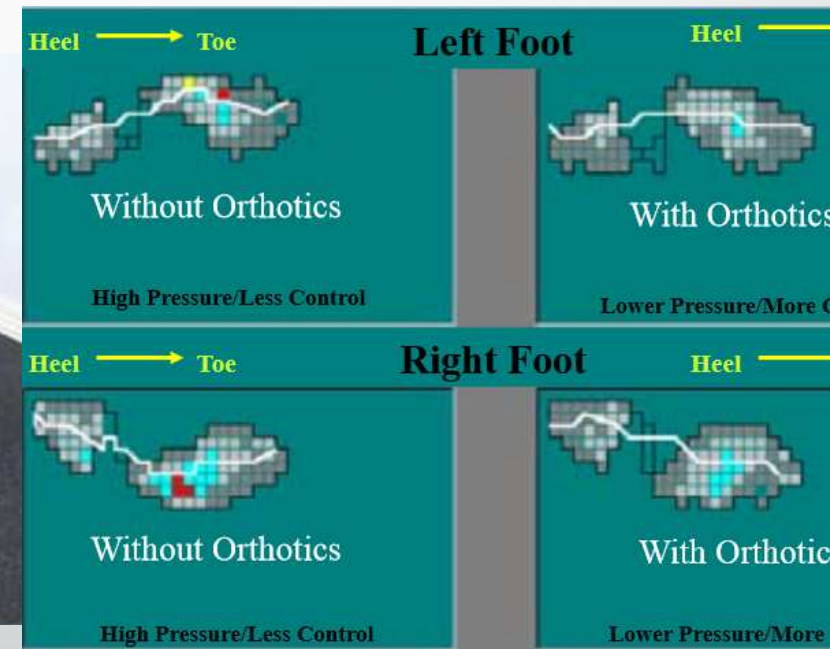
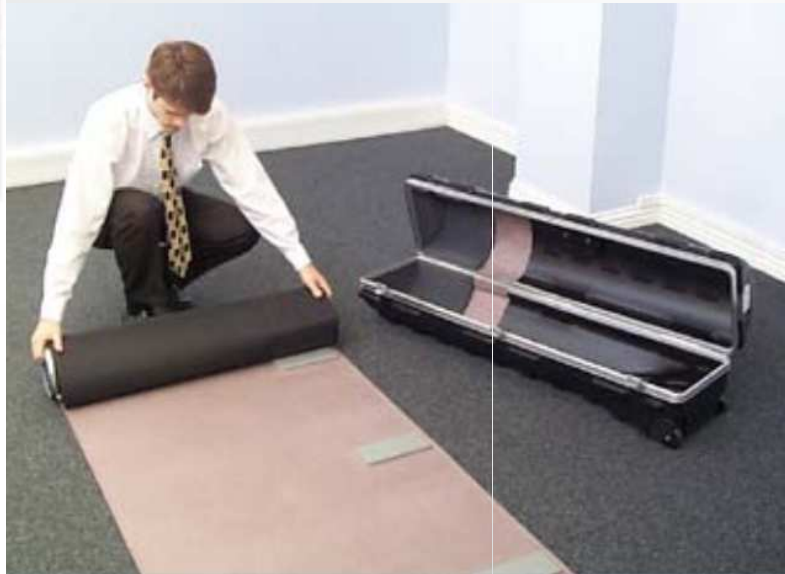
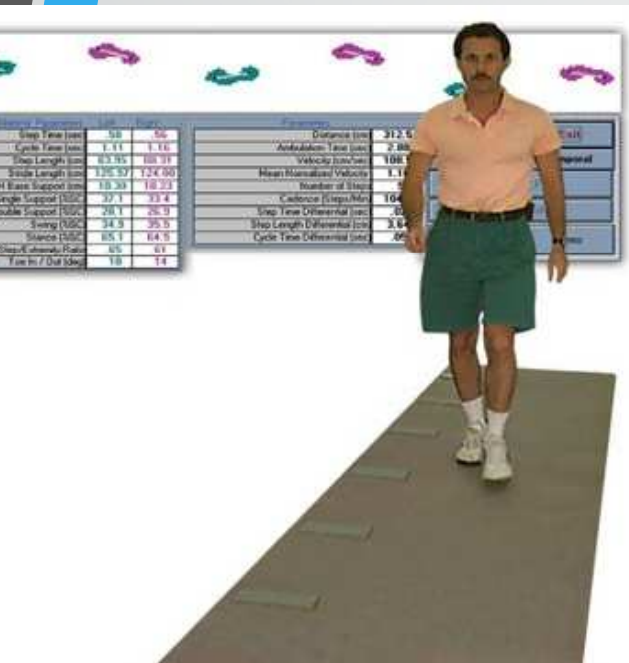
Accelerometro triassiale sulla spalla per monitorare la discinesia di pazienti con PD in terapia farmacologica.

Accelerometro biassiale sulla schiena per la misura della cadenza, la simmetria dello step e la ripetibilità dello stride in pazienti con PD in terapia farmacologica.

Tappeto sensorizzato GAITRite per la valutazione del FAP Score, indice di valutazione del cammino basato sui parametri spazio-temporali del passo.

Wearable Technology: Riabilitazione; valutazione dell'efficacia di un trattamento

Tappeto sensorizzato GAITrite : portabilità

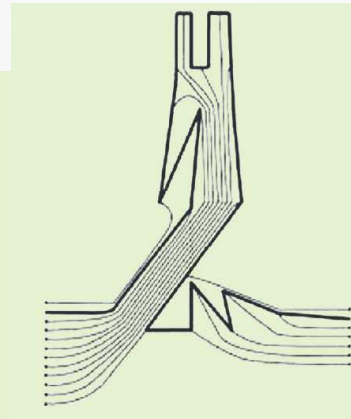


Wearable Technology: Riabilitazione; valutazione dell'efficacia di un trattamento

Tessuti sensorizzati per identificare la postura e il movimento del braccio in pazienti post-stroke.



Upper Limb Kinesthetic Garment (ULK): De Rossi, 2010



Prototipo di fascia per ginocchio per la gait analysis. Questa tecnologia potrebbe essere applicata anche per il monitoraggio degli atleti, l'analisi e il miglioramento delle prestazioni (De Rossi, 2010)

Wearable Technology

Per quali applicazioni



- ✓ Monitoraggio di anziani, di soggetti con patologie croniche in casa o in ambienti familiari per il soggetto
- ✓ Riabilitazione domiciliare; Valutazione dell'efficacia di un trattamento
- ✓ Individuazione di segni iniziali di disordini motori
- ✓ Monitoraggio dello stato di salute degli sportivi e delle loro performance

Wearable Technology: individuazione segni iniziali disordini motori

IMU al polpaccio, piede, coscia e a livello lombare.

L'indice di Freezing calcolato (rapporto tra potenza in 3-8Hz e in 0-3Hz) e confrontato con freezing riconosciuto clinicamente

Xsens[®]: Sistema di misura 3D con 17 IMU (10 per arti inferiori e 7 per arti superiori); algoritmi di fusione sensoriale; modelli matematici validati; connessione wireless al PC. In uscita si ottiene: orientazione 3D e posizione di segmenti anatomici; rappresentazione 3D di 22 articolazioni; centro di massa corporeo 3D; dati dei sensori inerziali 3D



IDEEA[®] (Intelligent Device for Energy Expenditure and Physical Activity, California USA): valutazione dell'attività fisica, analisi cammino, stima del consumo energetico.

Wearable Technology

Per quali applicazioni



- ✓ Monitoraggio di anziani, di soggetti con patologie croniche in casa o in ambienti familiari per il soggetto
- ✓ Riabilitazione domiciliare; Valutazione dell'efficacia di un trattamento
- ✓ Individuazione di segni iniziali di disordini motori
- ✓ Monitoraggio dello stato di salute degli sportivi e delle loro performance

Monitoraggio della performance negli sportivi (Sensorize)



Protocolli implementati

- Salto con contro movimento CMJ
- Squat jump SJ
- Salti CMJ ripetuti di durata variabile (15-60 s)
- Stiffness test
- Drop Jump

Risultati restituiti :

- Quota del salto (m)
- Tempo di volo (s)
- Velocità massima (m/s)
- Forza massima (N/kg)
- Lavoro muscolare (J/kg)
- Potenza muscolare (W/kg)
- Indice di affaticamento
- Indice di reattività
- Indice di stiffness muscolo-tendinea

Analisi della forza esplosiva degli arti inferiori durante i test di salto verticale sul posto ([test di Bosco](#)).

Utilizzo di [sensori inerziali](#) (accelerometri e giroscopi)

Trasmissione wireless tramite Bluetooth dei dati acquisiti con visualizzazione in tempo reale sul PC.

Utilizzo indoor/outdoor e su qualsiasi superficie (sabbia, erba, e neve).

Monitoraggio della performance negli sportivi (Sensorize)



- Valutazione e monitoraggio dell'allenamento con sovraccarichi alle macchine da muscolazione o al bilanciere libero.
- Fornisce la misura della potenza muscolare in tempo reale.
- Comunicazione wireless
- Dalla misura diretta della forza impressa al carico durante un esercizio di sollevamento pesi, il sistema determina la velocità con cui il carico viene spostato e, di conseguenza, la potenza erogata dal gruppo muscolare coinvolto nell'esercizio.

Consente di:

- avere feedback sulla potenza muscolare
- costruire curve potenza-carico e forza-velocità
- ottimizzare l'allenamento ed il recupero

Risultati restituiti:

- Potenza muscolare (W/kg)
- Forza muscolare (N/kg)
- Velocità media (m/s)
- Carico massimale e quello ottimale

Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi

Commercialmente sono **3** le ditte di **CARDIOFREQUENZIMENTRI** più utilizzati per il monitoraggio durante l'attività sportiva:

1. POLAR

2. GARMIN

3. ZEPHYR

Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi

POLAR

Cardiofrequenzimetro H6:

- + VISUALIZZA IN TEMPO REALE LA FREQUENZA CARDICA
- NON HA MEMORIA INTERNA



Cardiofrequenzimetro *Running e Multisport* (RCX5, RC3 GPS, RCX3, RS300X)

- + VISUALIZZA e MONITORA IN TEMPO REALE LA FREQUENZA CARDIACA
- + GUIDA L'ALLENAMENTO RILASCIANDO FEEDBACK ISTANTANEI
- + MOSTRA I DATI DELL'ALTITUDINE, TRACCIA IL PERCORSO E LA VELOCITÀ



Cardiofrequenzimetro *Ciclismo* (CS600X, CS500+)

- + DETERMINA SE L'ALLENAMENTO ED I TEMPI DI RECUPERO SONO SUFFICIENTI PER GARANTIRE UN MIGLIORAMENTO DELLE PRESTAZIONI
- + MOSTRA LE PENDENZE IN SALITA E DISCESA



Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi

POLAR

Cardiofrequenzimetro V800

- + MISURA OGNI SESSIONE DI ALLENAMENTO E L'ATTIVITÀ QUOTIDIANA 24/7
- + MOSTRA IL CARICO DI LAVORO E I TEMPI DI RECUPERO
- + MOSTRA VELOCITÀ E PERCORSO (GPS INTEGRATO)
- + VISUALIZZA LA FREQUENZA CARDIACA (ANCHE IN ACQUA)
- + CONSENTE DI ANALIZZARE L'ALLENAMENTO CON LA MOBILE APP
- COSTO



Cardiofrequenzimetro Polar Loop

- + ACTIVITY GUIDE PER TENERSI IN ATTIVITÀ DURANTE IL GIORNO
- + ACTIVITY BENEFIT RILASCIAM UN FEEDBACK SULL'ATTIVITÀ SVOLTA
- + VISUALIZZA LO STATO DI ATTIVITÀ QUOTIDIANA, LE CALORIE CONSUMATE
- + CONSENTE DI ANALIZZARE L'ALLENAMENTO CON LA MOBILE APP



Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi

GARMIN

Cardiofrequenzimetro *Fascia Cardio*:

- + LA FASCIA CARDIO TRASMETTE IN MODALITÀ WIRELESS LA FREQUENZA CARDIACA AL DISPOSITIVO COMPATIBILE
- NON HA MEMORIA INTERNA



Cardiofrequenzimetro e Accelerometro 3D *Serie VIVO*

- + VISUALIZZARE PASSI, CALORIE, DISTANZA E DI MONITORARE I PERIODI DI SONNO
- + SALVATAGGIO, PIANIFICAZIONE E CONDIVISIONE DEI PROPRI MIGLIORAMENTI
- + OBIETTIVI AUTOMATICI



Cardiofrequenzimetro e GPS *Forerunner*

- + CONSENTE DI RILEVARE LA DISTANZA, IL PASSO CORRENTE E LE CALORIE BRUCIATE
- + CONSENTE DI IDENTIFICARE I RECORD PERSONALI
- + RILEVAZIONI PER IL NUOTO



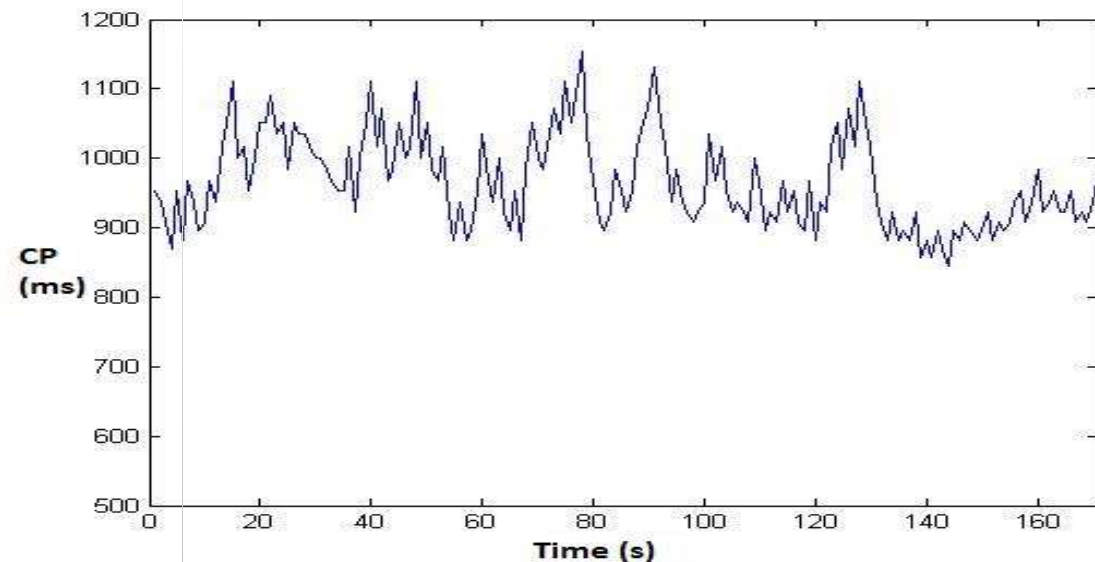
Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi

ZEPHYR

Cardiofrequenzimetro Bioharness 3

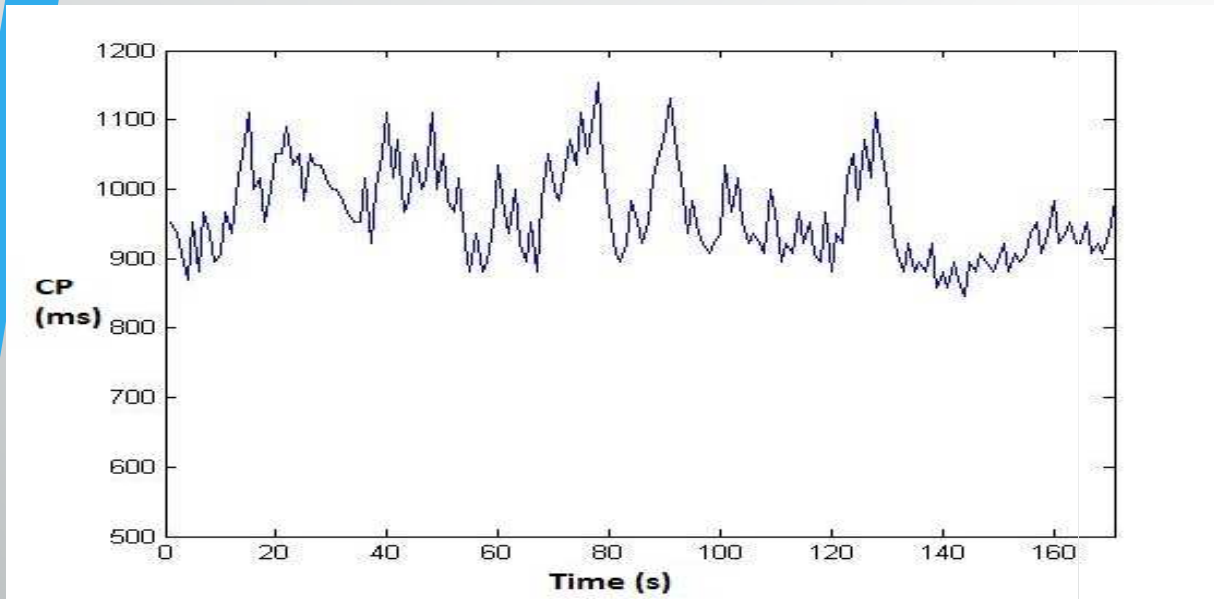
- + ACCURATEZZA
- + FACILITA' DI UTILIZZO
- + COMODITA'
- + MEMORIA INTERNA
- + ALTRI PARAMETRI (ECG, Breathing rate, posture, pressure)
- COSTO

È l'unico che dà come segnale in uscita il Tacogramma



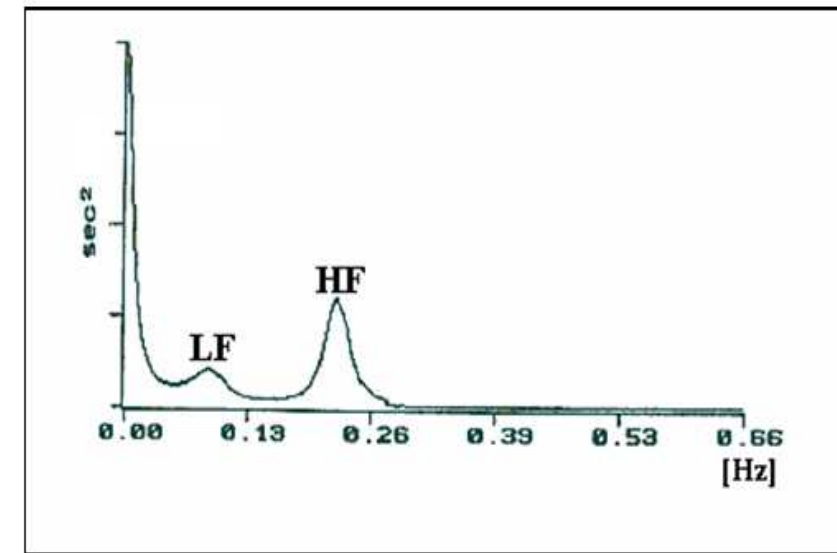
Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi

Analisi nel dominio del tempo



Tacogramma

Analisi nel dominio della frequenza



Spettro di densità di potenza del tacogramma

Si notino le tre bande di frequenza caratteristiche:

- VLF
- LF (sistema simpatico e vagale)
- HF (sistema vagale)

Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi

B.M.E.D. (Bio-Medical Engineering Development) Srl è uno SPIN-Off di UNIVPM ed ha sviluppato un servizio di monitoraggio dello stato di salute e della performance dell'atleta che prevede acquisizioni periodiche secondo un protocollo prestabilito:

- almeno 5 minuti di riposo
- almeno 20 minuti di corsa
- almeno 5 minuti di recupero

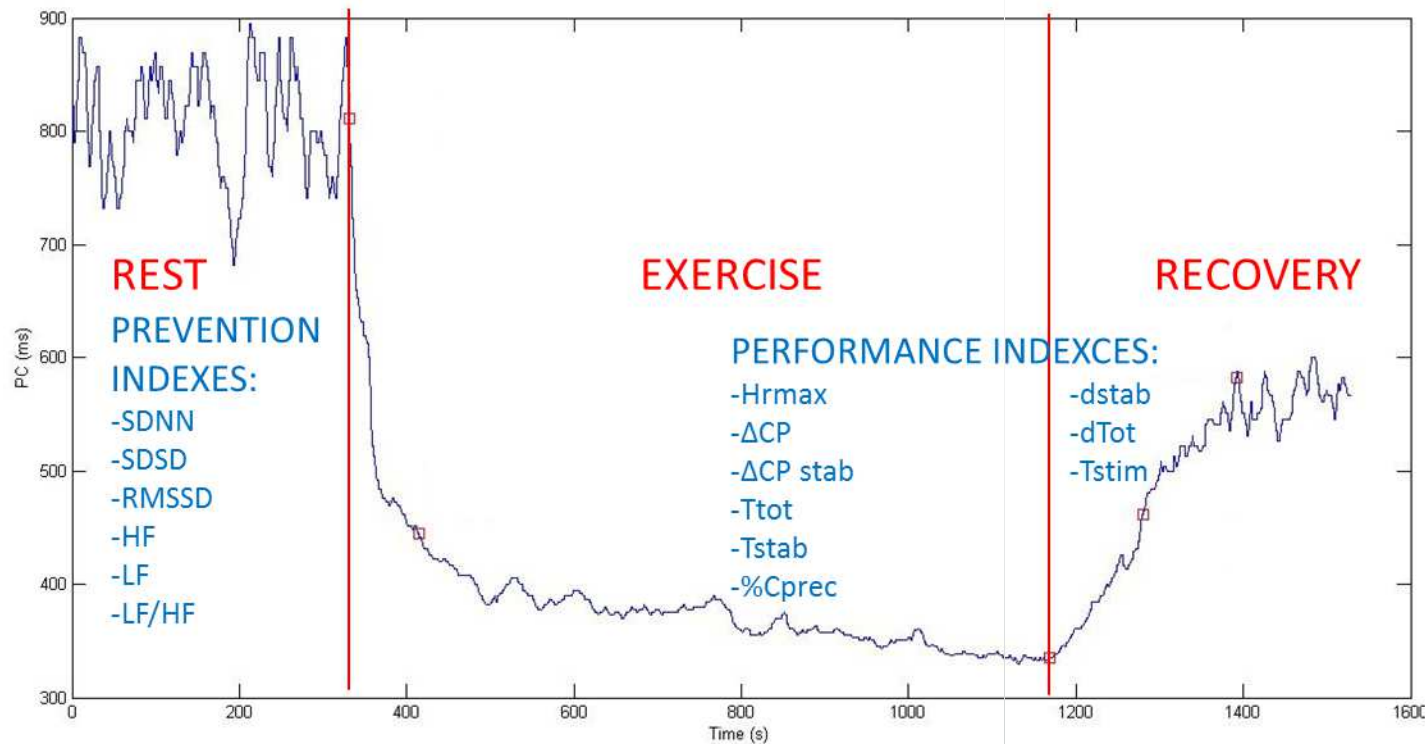
in modo che possano essere calcolati parametri di HR (Heart Rate) and HRV (Heart-Rate Variability)

Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi

In particolare:

- dalla fase di riposo lo studio di HRV permette l'estrapolazione di indici di rischio cardiovascolare
- dalle fasi di esercizio e di recupero si estraggono indici innovativi di performance atletica (tempo di recupero, quantificazione del recupero, riscontro di eventuale overtraining nel soggetto etc.)

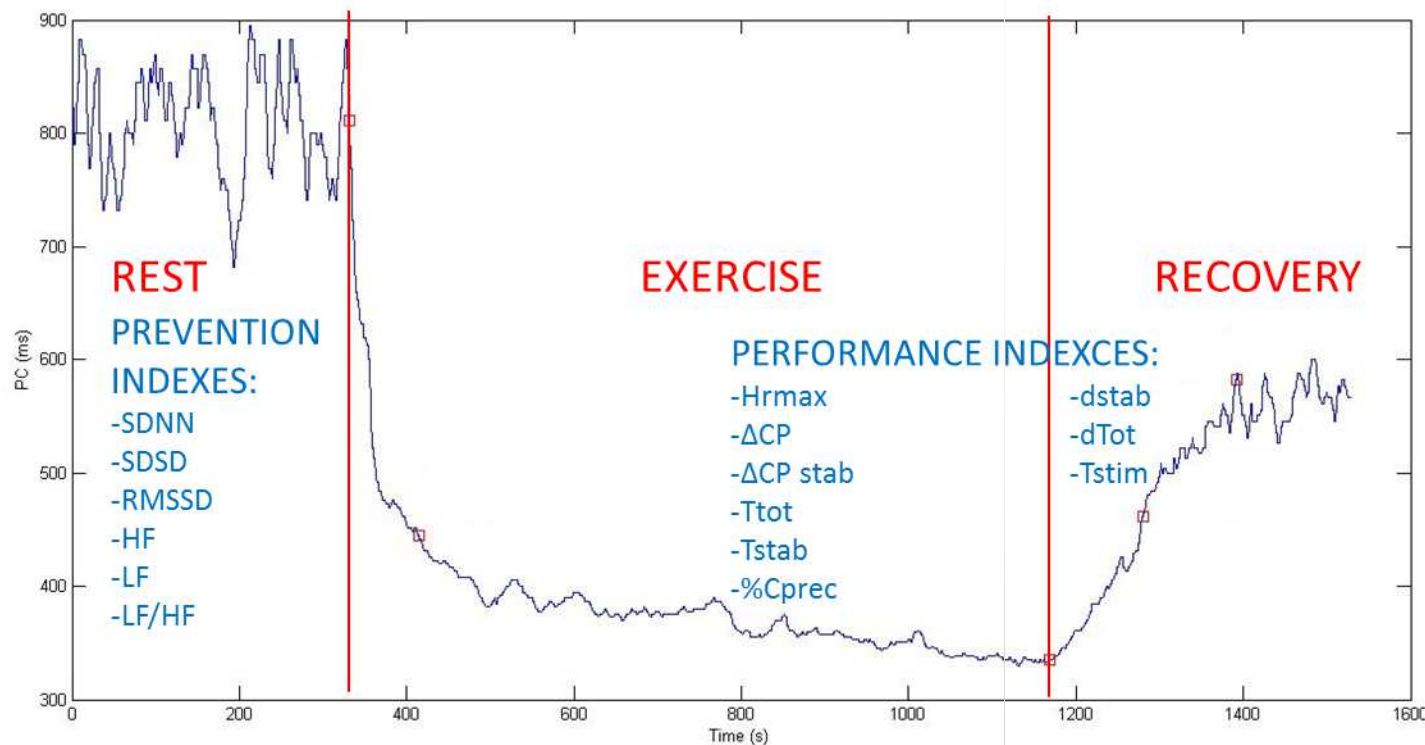
Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi



Fase di Riposo (REST):

- **SDNN**: riassume tutte le componenti cicliche responsabili della variabilità cardiaca
- **SDSD**: misura la variabilità cardiaca a breve termine
- **RMSSD**: indice di variabilità velica
- **HF**: riflette esclusivamente l'attività parasimpatica
- **LF**: riflette l'attività di entrambi i sistemi nervosi simpatico e parasimpatico
- **LF/HF**: espressione dell'equilibrio intercorrente tra i due sistemi

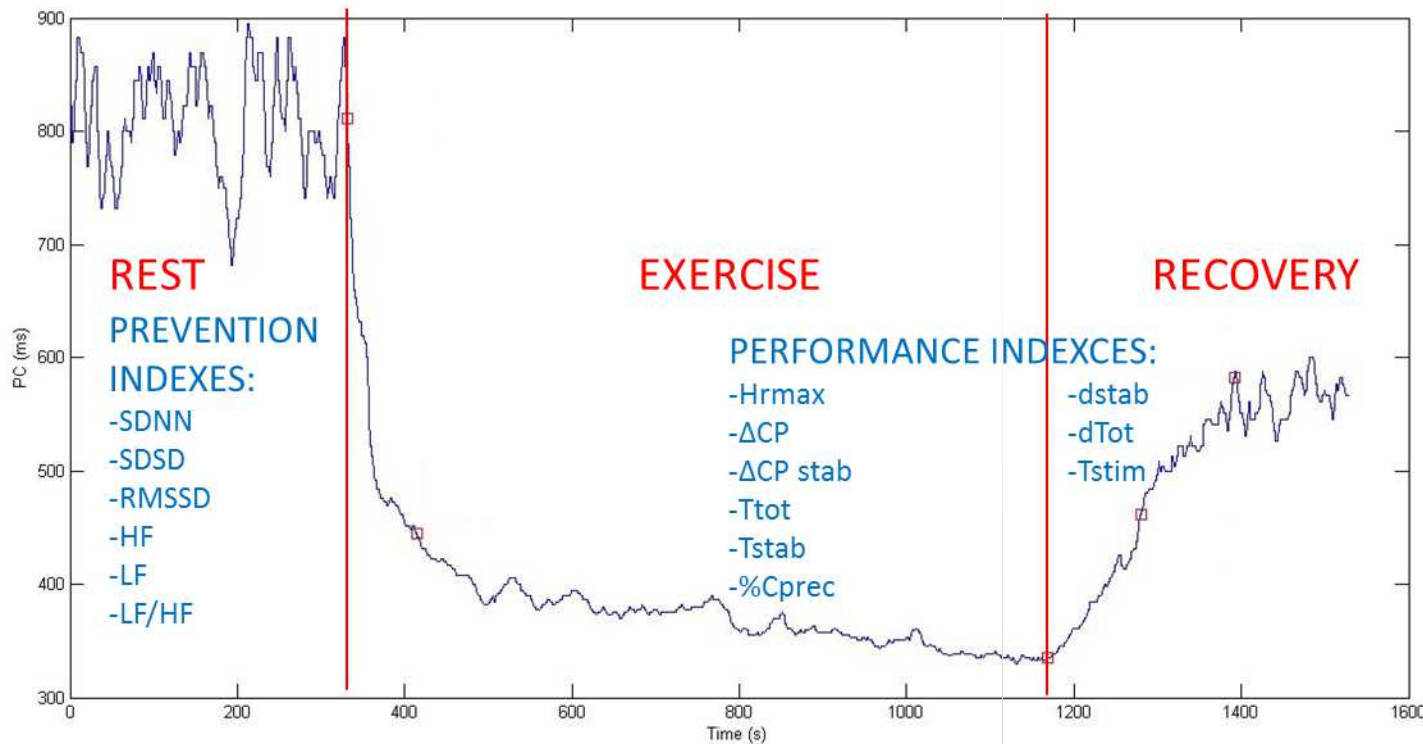
Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi



Fase di Esercizio (EXERCISE):

- **HRmax**: Frequenza massima raggiunta durante esercizio
- **Δ CP**: delta di incremento tra il periodo cardiaco medio durante l'esercizio e quello raggiunto nel recupero
- **Δ CP stab**: Delta di incremento tra il periodo cardiaco medio durante l'esercizio e quello rilevato in corrispondenza dell'istante di ripresa della variabilità cardiaca.
- **%Cprec**: Valore percentuale del periodo cardiaco valutato nel recupero calcolato rispetto al periodo cardiaco rilevato a riposo.

Wearable Technology: monitoraggio dello stato di salute e della performance negli sportivi



Fase di Recupero (RECOVERY):

- **dstab** e **dtot**: derivate calcolate dall'istante di fine esercizio che quantificano i tempi di recupero
- **Tstim**: tempo stimato per un completo recupero, ovvero per rilevare un periodo cardiaco pari a quello della fase di riposo

Wearable Technology

Conclusioni

- ✓ Evoluzione tecnologia ha ridotto i costi della componentistica e reso i dispositivi indossabili di dimensioni sempre più ridotte e con costi accettabili
- ✓ Dispositivi di uso corrente dotati di sensori di movimento possono risultare accettabili
- ✓ Ci sono evidenti problematiche tecniche legate elaborazione in real time, all'autonomia delle sorgenti di alimentazione e agli standard di comunicazione

*«Misura ciò che è misurabile e rendi misurabile
ciò che non lo è» (Galileo Galilei)*

GRAZIE PER

L'ATTENZIONE