



Il monitoraggio Psicofisico

Autori e collaborazioni

Elisabetta Pisano, Claudio Lamberti DEIS, Università degli Studi di Bologna,
Vincenzo Gullà, Francesca Gullà, Aditech S.rl

Ilaria Corsani, Giulio Ciullini, Vincenzo Manzi, Antonio Bovenzi, Giorgio Galanti Dipartimento di Medicina dello Sport della Università degli Studi di Firenze

Nasce qualche anno fa in Nuova Zelanda dalla mente di Brian Russell, ideatore e fondatore della Zephyr Technology , che ha avuto l'intuito di creare un sensore per monitorare contemporaneamente 5 parametri vitali determinanti nella individuazione del comportamento psicofisico della persona che lo indossa . I parametri di cui parliamo sono: Frequenza cardiaca, Frequenza respiratoria, Attività corporea, Temperatura della pelle e la Postura . L'opportuna combinazione di questi parametri difatti è in grado di svelare lo stato emotivo di una persona davanti ad un evento improvviso (evidenziato dal batticuore o l'affanno) , oppure la sua attività, lo sforzo cardiaco , uno stato di malessere o di stress, tutti elementi che possono influenzare le condizioni di benessere dell'individuo. Applicato inizialmente per "misurare" la reazione psicofisica di soggetti in situazioni critiche, ha mostrato presto la sua validità in molti altri campi applicativi.

La misura dei parametri biomedici

Il sensore denominato Bioharness è composto da un accelerometro 3D, un rivelatore di temperatura ad infrarosso , un lettore cardiografico a 3 elettrodi ed un misuratore di frequenza respiratoria. L'apparato viene inserito in una cintura di fibra conduttrice in cui sono integrati gli elettrodi cardiografici e di respirazione. La rilevazione offre la possibilità di avere a disposizione diversi parametri biomedici principali, più molti altri che permettono di graficare svariate forme d'onda e tutto semplicemente con l'utilizzo di un unico dispositivo indossabile non invasivo e leggerissimo.



Fig1. Il dispositivo utilizza una cintura in fibra (SMART FIBER) conduttrice, all'interno della quale sono integrati i sensori di respirazione e gli elettrodi cardiografici realizzati in materiale spugnoso, anch'esso conduttore.

Il BioHarness device costituisce "la parte intelligente" dello strumento, è un sensore multi parametrico con il compito di rilevare, memorizzare e trasmettere i parametri misurati in tempo reale. Il suo peso è di circa 35 grammi, pensato appositamente per essere "indossato" in modo non invasivo dal paziente/utente nella esplicazione delle sue attività quotidiane. Le sue dimensioni sono ridotte per facilitare i movimenti dello stesso e sono di circa 80 x 40 x 15 mm. Lo strumento ha una capacità di memorizzare circa 480 ore di attività. La batteria ha un'autonomia di circa 16 ore. I dati raccolti dal device possono essere trasmessi alla postazione di controllo in radiofrequenza o Bluetooth. Per quanto riguarda le frequenze del device sono regolabili in base al paese in cui vengono usate in accordo con le normative di regolamentazione ISM (1)(868 - 929MHz).

Il primo parametro misurato è la frequenza cardiaca e l'elettrocardiogramma (ECG) che registra l'attività del cuore. Il sensore registra il valore di ECG nel caso di riposo o di uno sforzo. Nel primo caso, per mezzo dell'analisi dei valori, si possono evidenziare patologie delle coronarie, alterazioni del ritmo cardiaco (ipertrofia) e della conduzione dell'impulso elettrico. Con i valori dell'ECG sotto sforzo è invece possibile ottenere un tracciato dinamico in grado di evidenziare cardiopatie latenti, nonché di stabilire i limiti dell'attività fisica per i pazienti affetti da scompensi coronarici.

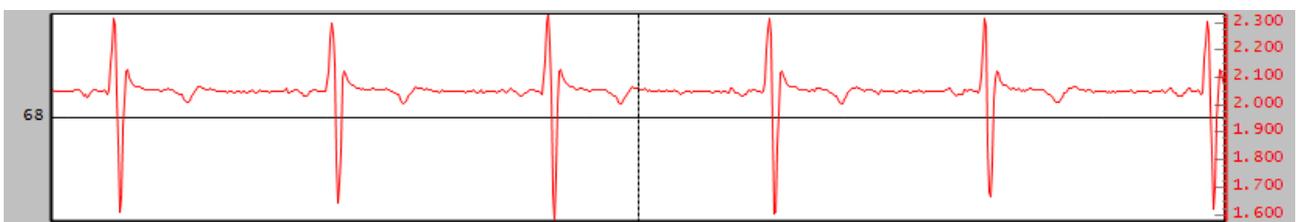


Fig2 tracciato ECG

La Frequenza Respiratoria da un'informazione precisa sul numero degli atti respiratori nell'arco di un minuto. In sostanza la cinta indossabile integra due sensori piezoelettrici che convertono la forza impressagli in un segnale elettrico. Il sensore appunto è incapsulato e fissato nella fascia toracica che si trova in corrispondenza dell'estremità inferiore dello sterno. Il segnale registrato non è altro che un'onda sinusoidale il cui fronte di salita corrisponde all'atto inspiratorio mentre il

fronte di discesa rappresenta quello espiratorio. La proprietà degli algoritmi di rilevamento di respirazione della Zephyr è in grado di misurare ogni singolo respiro. La rilevazione della frequenza di respirazione avviene dopo un intervallo di circa 30/45 secondi necessario per la inizializzazione ed attivazione del device.

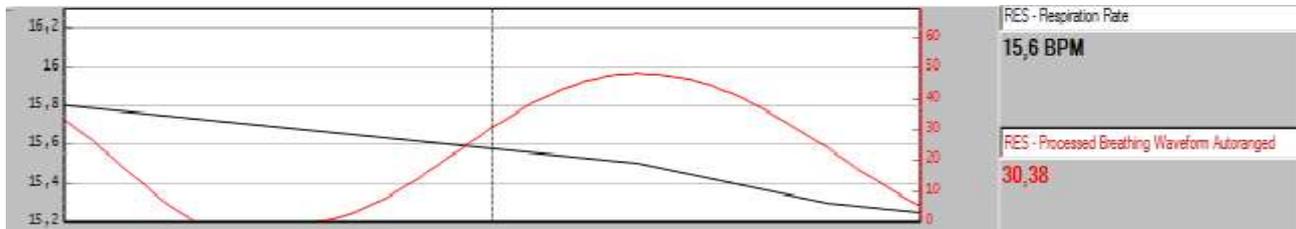


Fig3 Tracciato frequenza respiratoria

L'accelerometro, parte integrante del sensore BioHarness è un trasduttore che converte un'accelerazione lineare in una grandezza elettrica secondo un legame noto. La massa contenuta nell'accelerometro si muove rispetto al contenitore per effetto della forza inerziale. L'entità dello spostamento, supposto linearmente legato alla forza e quindi all'accelerazione, viene rilevato o attraverso estensimetri o sfruttando l'effetto capacitivo. Anche in assenza di movimento l'accelerometro misura la componente dell'accelerazione di 24 gravità lungo l'asse di misura. Per questo motivo un accelerometro, in condizioni statiche, è in grado di dare informazioni precise sulla postura (inclinazione del corpo rispetto all'asse di riferimento)

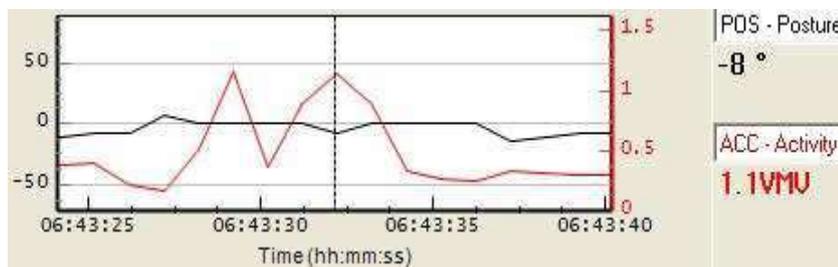


Fig 4 Grafico accelerazione e Postura

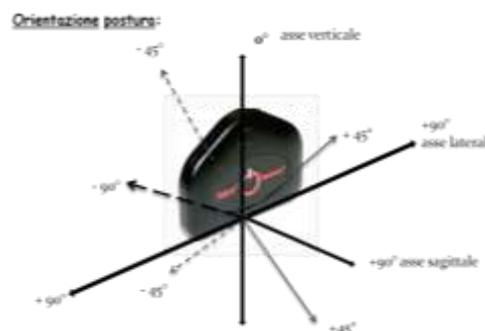


Fig5 Orientazione postura

La misura della Temperatura costituisce un altro parametro importante; Il sensore a infrarossi del dispositivo BioHarness ha una risposta veloce, accurata e molto precisa.

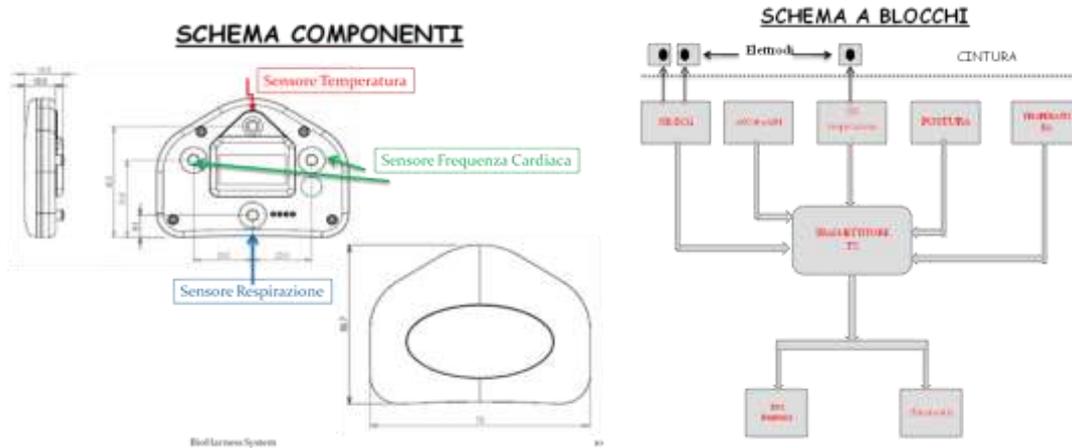


Fig 6; schema componenti e funzionali

La combinazione dei parametri Biomedici

I parametri rilevati possono essere combinati tra loro per dare una valutazione complessiva ed immediata dello stato psicofisico del soggetto che indossa l'apparato. In figura è mostrato il monitoraggio live in formato "cruscotto" visibile durante una esercitazione dalla postazione di controllo.

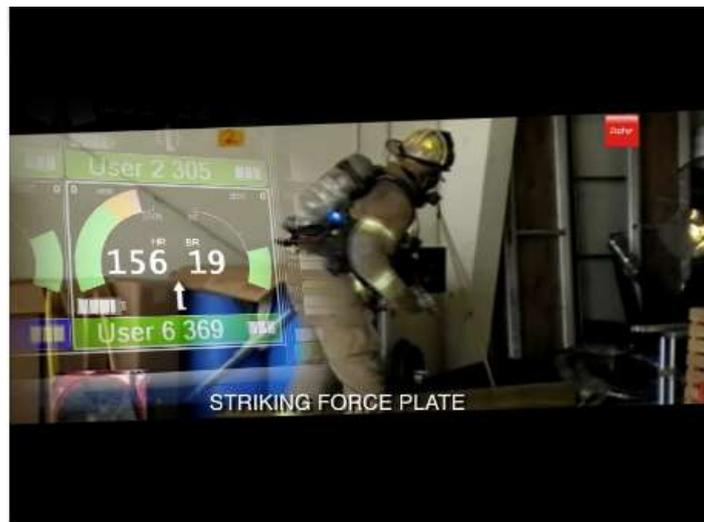


Fig 7 : frist responders

I parametri mostrati nella immagine sono la combinazione della frequenza cardiaca , frequenza respiratoria, postura e attività con la segnalazione delle soglie fisiologiche oltre cui il soggetto potrebbe entrare in situazioni critiche.



Fig 8 Consolle di monitoraggio parametri combinati



Fig 9 Monitoraggio contemporaneo multi utente

Da quanto finora esposto si intuisce la flessibilità e utilità di un simile strumento e i benefici che potrebbe portare ad una ampia gamma di settori .

Applicazioni

In Italia questa soluzione è stata inizialmente adottata da alcuni centri di ricerca ed università per applicazioni domotiche e di monitoraggio di parametri vitali, successivamente si è rilevata la sua validità nello sport per la determinazione dei parametri fisiologici di atleti , piloti di F1, nel calcio ed in altre attività professionali.

Il monitoraggio da remoto

Home-care : utilizzo di Zephyr Bioharness per valutare il grado di attività fisica dell' anziano

Il progetto realizzato presso ARCES (Università' degli Studi di Bologna) da prof. Claudio Lamberti e prof. Tullio Salmon Cinotti con la collaborazione di Elisabetta Pisano, Fabio Vergari, Alfredo D' Elia e Francesco Morandi affronta uno degli aspetti applicativi della Telemedicina, l' Home-Care: forma di assistenza alla persona, che viene prestata a domicilio, senza che i pazienti debbano recarsi in ospedale o in ambulatori specialistici. Uno degli aspetti significativi per monitorare il decorso della malattia, tipicamente nel primo periodo dopo un ricovero ospedaliero, è valutare in maniera oggettiva se, e con quale rapidità, il paziente riprende a svolgere le attività abituali. Partendo dalla condizione di non poter e non volere conoscere le azioni che il soggetto svolge nella propria abitazione in un determinato momento (es. cammina, riposa, lavora etc.), si è ritenuto interessante sviluppare un metodo che fornisca non tanto il riconoscimento dell'azione specifica eseguita, quanto piuttosto un indice dell' intensità di attività fisica svolta dal paziente. Lo studio mirava a individuare una tecnica che consenta, in base al segnale di Attività (VMU) fornito dallo Zephyr Bioharness, di estrarre un valore di soglia che permetta di discriminare quando l' attività fisica del paziente rientra in una fascia medio-alta di intensità(sforzo) e quando invece il paziente svolge attività fisica di bassa intensità (riposo) così da poter stimare, nel corso di una breve o lunga osservazione, un indicatore oggettivo di attività fisica svolta. E' stato preso un campione di 10 anziani, 5 donne e 5 uomini, aventi età compresa tra i 70 e i 79 anni, con caratteristiche fisiche comuni e discreto stato di salute, ovvero senza gravi patologie cardiache o motorie. Lo studio è stato svolto presso l' ambulatorio di un medico di medicina generale. I dati trasmessi dal Bioharness device in modalità Bluetooth hanno permesso di osservare in tempo reale le variazioni dei parametri fisiologici del paziente durante l'esecuzione dell'esercizio, verificando che rientrasse correttamente nel campione di osservazione che si erano prefissati, quindi condizioni cardiache buone e assenza di problemi motori. Il parametro di attività fornito dallo Zephyr ed espresso con unità di misura VMU(g/sec) è stato raccolto per ogni singolo individuo ed opportunamente elaborato. Obiettivo della elaborazione era trovare una soglia di valore di attività comune

a tutti i soggetti, che permetta di individuare in maniera automatica ed oggettiva quando il paziente sta svolgendo attività fisica o quando è in condizioni di normale risposo. Partendo dal segnale di attività', fornito in uscita dallo Zephyr, si è osservato che il segnale originale presentava un andamento corretto e fedele all' attività svolta , ma non proprio facile da gestire ai fini della analisi , per la presenza di numerosi glitch. Sono state testate alcune tecniche di filtraggio numerico, in particolare un filtraggio passa-basso a media mobile e un filtraggio mediano.

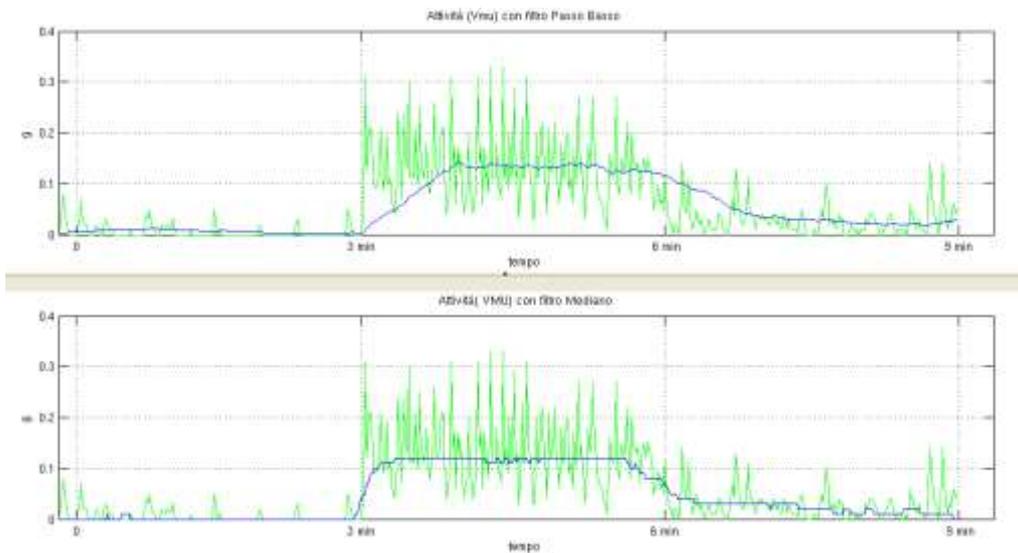


Fig 10 : monitoraggio attività

Nella figura 11 è mostrato un esempio di soglia comune per tutti i pazienti. A colori diversi corrispondo pazienti diversi. La soglia trovata corrisponde ad un valore di 0.064 g, che per il momento soddisfa lo scopo dello studio e può essere applicato con sufficiente attendibilità. In definitiva con l' utilizzo di una semplice cintura si è in grado di monitorare da remoto il miglioramento fisiologico di un paziente deospedalizzato ed il suo decorso verso la ripresa della normale attività quotidiana.

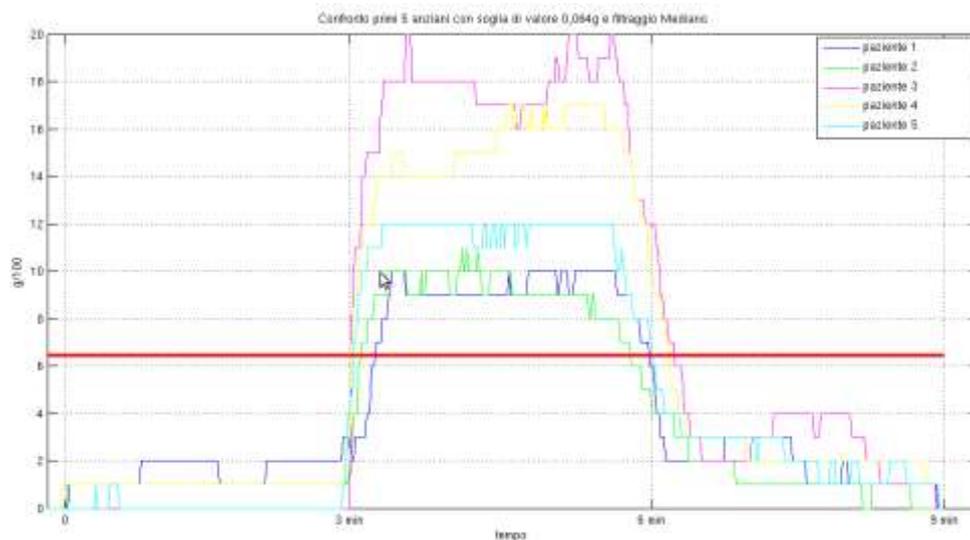


Fig .11 [Indicatore di attivita' per 5 soggetti anziani e individuazione della soglia per discriminare il livello di attivita' (sforzo /riposo).

Ambient Assisted Living.

L'obiettivo del progetto studiato alla università Politecnica delle Marche si basa principalmente sulla determinazione e sulla individuazione di scenari fondamentali nell'applicazione di telemedicina in un contesto domestico, quale l'ambient assisted living. Il metodo proposto consiste nella definizione dei diversi stadi della vita quotidiana di una persona debole e/o anziana basata sulla combinazione dei parametri fisiologici e comportamentali rilevati attraverso sensori. Con conseguente emissione di allarmi in caso di condizioni critiche. Obiettivo e metodo proposti sono fondamentali per definire in ultimo il tipo di beneficio che otteniamo dagli stessi, dove:

- La comunicazione bidirezionale con il care giver/tutor permette al paziente di essere aggiornato sugli eventi di interesse immediato e ricevere eventuali allarmi suggerimenti e consigli.
- Il monitoraggio continuo dà una visione completa dei dati fisiologici e consente di valutare lo stato complessivo del paziente migliorare la comprensione da parte dei medici sulle condizioni e stile di vita dello stesso.

La parte funzionale della struttura generale è stata costruita pensando alle seguenti unità fondamentali:

1. Sensore "BioHarness - Zephyr" (Bluetooth) : strumento multiparametrico, in grado di rilevare numerosi tipi di informazioni riguardanti parametri vitali e biomedici dell'anziano.
2. Sensori Ambientali: Particolari sensori posizionati all'interno dell'ambiente domestico in grado di stabilire il contesto in cui il soggetto si muove.
3. Sistema Interpretativo (Decision Maker): Si avvale di una serie di algoritmi di Intelligenza Artificiale per riconoscere gli scenari in base alla combinazione dei dati ambientali, vitali e statistici. E' in grado di analizzare ed interpretare i valori prelevati in un preciso istante e mappare quest'ultimi all'interno di uno scenario definito in precedenza; genera diverse tipologie di allarme a rilevazione temporale; associa ad ogni allarme azioni diverse da compiere o suggerimenti utili o necessari da comunicare alla persone vicine e lontane.



Fig 12 Una ipotesi di applicazione sviluppata all'Università Politecnica delle Marche

La valutazione dei parametri fisiologici degli atleti

I primi ad utilizzare il Bioharness nello sport sono state alcune società sportive USA che hanno potuto così "misurare" la capacità e resistenza fisica degli atleti in condizioni di stress e sforzo fisiologico. I dati raccolti dallo strumento (in particolare frequenza cardiaca e respiratoria) consentono la determinazione della soglia anaerobica (AT), corrispondente al passaggio dal metabolismo aerobico a quello anaerobico, cioè dal consumo di grassi a quello di energia muscolare, con relativo accumulo di acido lattico e insorgenza da fatica muscolare. La determinazione della soglia anaerobica negli atleti è essenziale per la valutazione dello stato funzionale di base e per impostare e monitorare l'allenamento dello sportivo: un programma basato sulla valutazione continua di AT aumenta le prestazioni, come forza e resistenza, riducendo il rischio muscolare di lesioni congiunte; conoscere l'AT permette una formazione più sicura in atleti professionisti o più anziani, più a rischio di malattie cardiache e in generale di infortuni.

Lo strumento finora utilizzato con questo scopo è il test cardiopolmonare (CPT), che rileva i parametri respiratori mediante analizzatori di gas, inevitabilmente connessi ad una mascherina in lattice da applicare al volto: attualmente il test cardiopolmonare rappresenta il gold standard per la valutazione della soglia anaerobica.

Su questo argomento si è impegnata la Scuola di Specializzazione di Medicina dello Sport dell'Università degli Studi di Firenze guidata dal Prof Giorgio Galanti e dal suo gruppo composto dai Dr Ilaria Corsani, Giulio Ciullini, Vincenzo Manzi ed Antonio Bovenzi.

Per lo studio è stata usata una fascia toracica (Zephyr Bioharness) in grado di fornire tutte le informazioni possibili dell'atleta con una ampia copertura telemetrica; sono stati confrontati i valori di relativi alla soglia anaerobica (AT) ottenuti con test cardiopolmonare (CPT), con quelli ottenuti con la benda toracica telemetrica Zephyr .

Il campione studiato era composto da 40 atleti (professionisti e non) di età compresa tra 16 e 64 anni (di cui 75% < 46 anni), tra i quali 4 donne e 36 uomini. Tutti i soggetti studiati erano sani e senza patologie cardio-polmonare attive. Ogni atleta è stato sottoposto a un test da sforzo con protocollo incrementale con tapis roulant o cyclette. Durante i test, ai pazienti sono stati applicati sia una maschera collegata al metabolimetro per calcolare i volumi delle vie respiratorie, sia il sistema di telemetria Zephyr .

Risultati : i valori di soglia anaerobica ottenuti mediante metabolimetro sono risultati sostanzialmente sovrapponibili a quelli corrispondenti al punto di deflessione della curva della frequenza cardiaca (149.71 ± 15.61 bpm vs 150.10 ± 16.52 bpm; $R=0,902$; $p=NS$) (Fig.13), così come a quelli corrispondenti al punto di deflessione della curva della frequenza respiratoria (149.28 ± 22.01 bpm vs 149.71 ± 15.61 bpm; $0,791$; $p=NS$) (Fig.14); si è registrata inoltre corrispondenza tra la frequenza cardiaca corrispondente al punto di deflessione della frequenza cardiaca e quello della frequenza respiratoria (149.28 ± 22.01 bpm vs 150.10 ± 16.52 bpm; $R=0,837$; $p=NS$) (Fig15). I dati ottenuti nei test ripetuti dopo 24 ore sono risultati comparabili a quelli ottenuti nel corso del primo test (HR at rest= $74,83 \pm 10.68$ bpm vs 74.33 ± 10.76 bpm; $p=NS$; AT= 152.50 ± 7.53 bpm vs 152.67 ± 6.86 bpm; $p=NS$; HR max= 170.00 ± 3.95 bpm vs 170.33 ± 3.83 bpm; $p=NS$).

Il sistema telemetrico Bioharness si è presentato come uno strumento affidabile e utilizzabile per la valutazione funzionale dell'atleta in telemetria e per il monitoraggio nel tempo della sua soglia anaerobica.

Supera le difficoltà che il CPT presenta in soggetti claustrofobici, o in pazienti con allergia al lattice o con reazioni avverse ai disinfettanti o materiale in uso.

Inoltre mostra un significativo miglioramento in costi e tempi rispetto al CPT (la sua gestione richiede un uso esclusivo in un laboratorio, con i medici dedicati). Ciononostante il test cardiopolmonare rimane il gold standard per la valutazione funzionale dell'atleta, ma dopo una prima valutazione annuale con il metabolimetro, l'atleta può essere monitorato frequentemente e senza creare ulteriori disagi attraverso il Bioharness. La precisione dei dati e la semplicità di utilizzo permettono a questo strumento di essere impiegato in molti ambienti sportivi. In conclusione il Bioharness Zephyr si è mostrato valido per la valutazione funzionale dell'atleta nell'acquisizione di dati affidabili, con una versatilità e facilità d'uso che consentono una più ampia diffusione in medicina dello sport per il beneficio di professionisti e non.

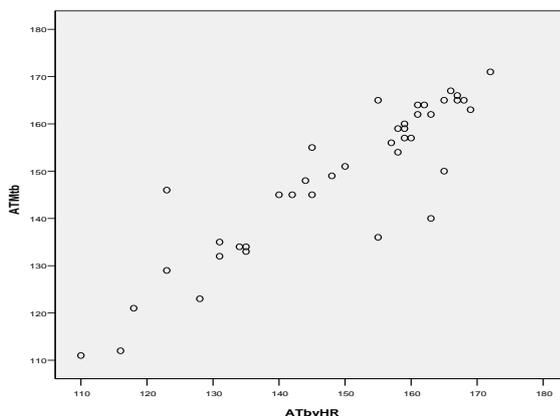


Fig 13. Sovrapposizione tra AT misurata con metodo CPT (Metabolimeter, Mtb) e curve HR

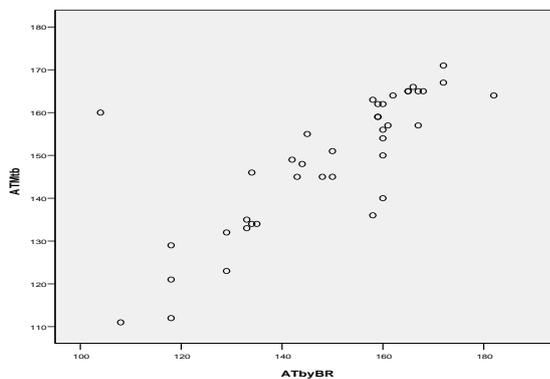


Fig14. sovrapposizione di AT misurata con CPT (Metabolimeter, Mtb) e curva respiratoria BR

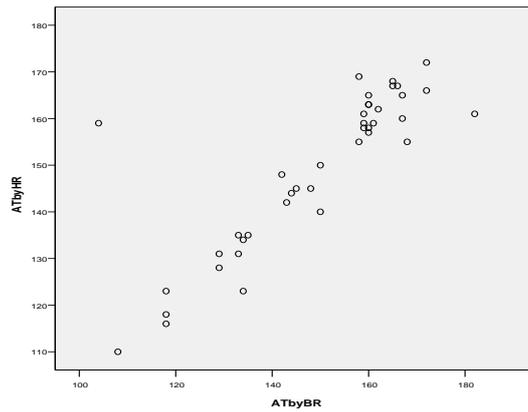


Fig.15. grafico a dispersione relativo alla sovrapposibilità della soglia anaerobica ottenuta dai punti di deflessione delle curve della frequenza cardiaca e della frequenza respiratoria.

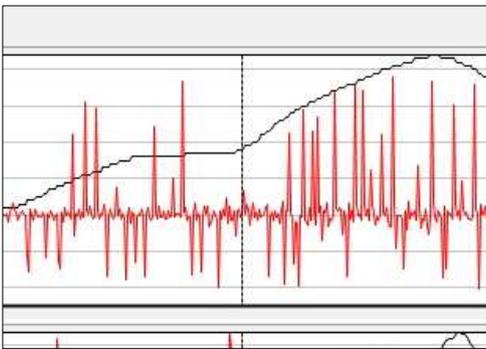


Fig.16. Trend frequenza cardiaca alla AT

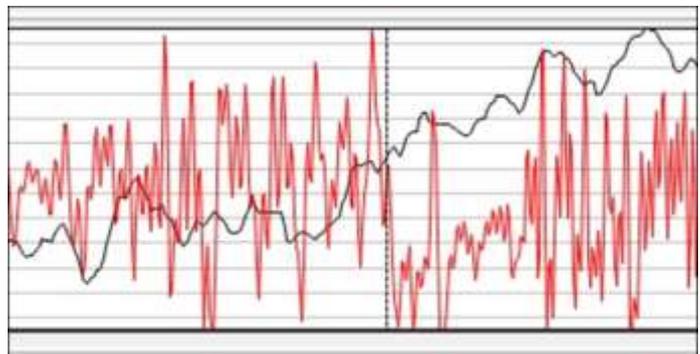


Fig. 17. Trend respiratorio alla AT



Fig 18 Gli atleti durante la fase di test CPT. Indossano contemporaneamente fasce Bioharness , maschere per la misura dei gas ed ECG.

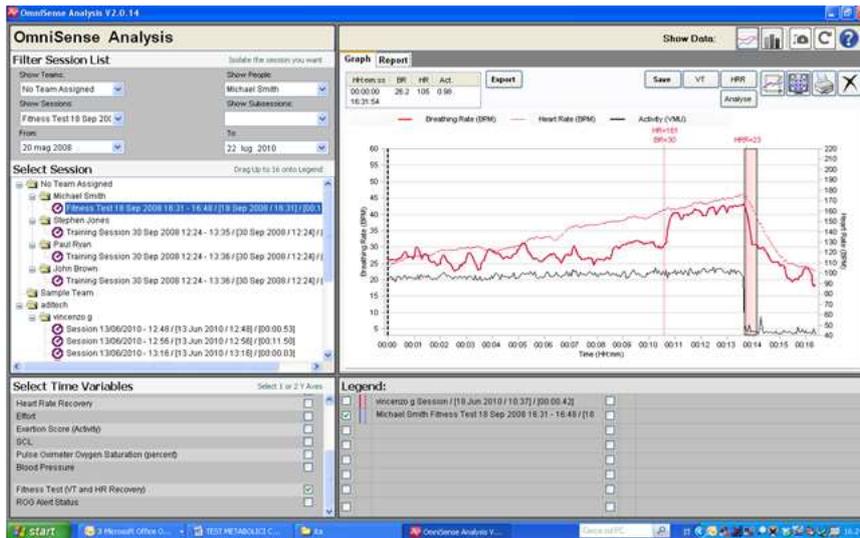


Fig 19 Software Bioharness . La combinazione dei dati di frequenza cardiaca, frequenza respiratoria ed attività consente la rilevazione immediata di HR, BR, HRR , VO2MAX ed AT.

Altre esperienze si stanno sviluppando in campi sportivi dove più che la forma muscolare è importante l'aspetto psicofisico. E' il caso della Formula 1, dove recentemente è stato introdotta la fascia Bioharness per correlare attività fisica con frequenza cardiaca e respiratoria e osservare più in dettaglio lo stato di stress cui sono soggetti i piloti durante le gare di F1. I risultati sono ancora in via di elaborazione ma si annunciano molto interessanti.



Fig 20 Banco di test durante le prove in F1. I dati fisiologici sono raccolti e trasmessi in tempo reale verso la centrale di controllo .

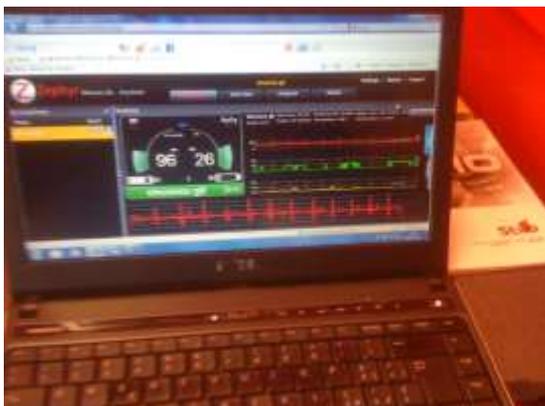


Fig 21 Dati ricevuti in tempo reale dai piloti mentre sfrecciano a 300Km/h sulla pista di prova.

Monitoraggio psicofisico durante la guida di un mezzo

Tra le applicazioni innovative che riteniamo di rilevante importanza riportiamo i risultati di un'esercitazione fatta in collaborazione con una nota organizzazione Italiana. Si tratta della valutazione del comportamento psicofisico di autisti in prossimità di un pericolo o ostacolo che si presenta improvvisamente. I test sono stati svolti durante una prova di Guida Sicura. È noto che spesso incidenti si risolvono in modo rovinoso per diverse motivazioni tra cui l'inesperienza dell'autista nell'affrontare un evento improvviso, che causa il più delle volte la perdita di controllo del mezzo. È anche noto che la probabilità di un tale evento è inversamente proporzionale al livello di autocontrollo del guidatore. La nostra esperienza si è focalizzata proprio su quest'ultimo fattore: misurare il grado di emotività presente nei candidati alla guida sicura nei momenti più critici, per dimostrare che l'acquisizione della tecnica di guida necessita anche di una buona dose di autocontrollo. I taccetti mostrano l'andamento cardiopolmonare di tre soggetti nell'affrontare lo stesso ostacolo:

- 1) Un istruttore di comprovata esperienza (curva blue)
- 2) Un allievo alla 3 o 4 prova (curva marrone)
- 3) Un allievo alla prima prova (curva rossa)

Dai risultati si può vedere, come previsto, che il grado di emotività è inversamente proporzionale alla esperienza, difatti l'istruttore non mostra assolutamente alcuna emotività mentre l'auto a 120Km/h gira vorticosamente in un turbine di testacoda, il secondo allievo mostra già una prima determinazione di autocontrollo ed il terzo è decisamente spaventato.

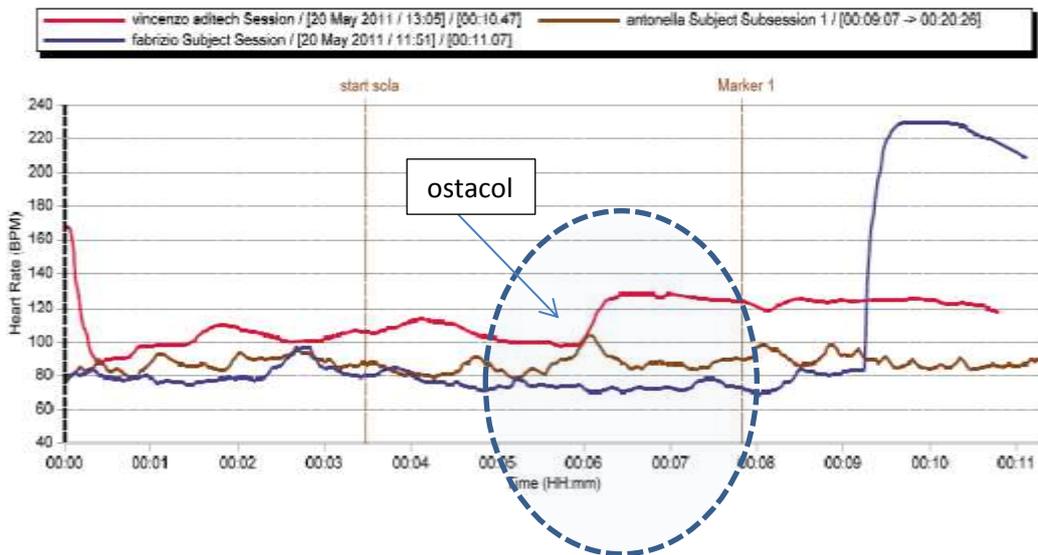


Fig 22 : andamento cardiopolmonare durante le prove di guida sicura.

Conclusione

La prevenzione ed il benessere individuale è soggetto alla combinazioni di diversi parametri biofisici di base che possono essere influenzati da fattori più diversi . Il monitoraggio combinato di queste parametri deve essere parte integrante del concetto di telemedicina, affinché questa sia efficiente e funzionale. Come dimostrano le diverse applicazioni illustrate , la conoscenza di un solo parametro come la frequenza cardiaca o respiratoria, la pressione, ecc. sono essenziali per evidenziare singole patologie o sofferenze ma non sono in grado di “misurare” l’effetto psicofisico che come abbiamo visto contribuisce a delineare profilo dettagliato del soggetto ,, il suo stato di benessere , la sua capacità di ripresa fisica, il suo potenziale sportivo e di autocontrollo. Tutto quanto ovviamente contenuto in un contesto di semplicità ed economicità della soluzione. Difatti simili soluzioni i cui benefici sono evidenti, hanno costi paragonabili a cellulari di ultima generazione e, come mostrato, con un po’ di fantasia e creatività si possono realizzare servizi di telemedicina e telemetria dai risultati impressionanti replicabili su vasta scala.