

TalentPLAYERS



LIBRETTO TECNICO

LIBRETTO TECNICO

Raccolta di note tecniche che descrivono la tecnologia alla base dei dispositivi TalentPlayers e le loro prestazioni ricavate da test scientifici rigorosi.

Sport Performance Tracking: GPS vs Sensori inerziali	2
Introduzione	2
Capire la tecnologia GPS	3
Alla scoperta dei sensori inerziali indossabili	7
Conclusioni	14
Riferimenti	15
Valutazione delle prestazioni della tecnologia inerziale TalentPlayers	17
Introduzione	17
Dispositivo Inerziale TPDev	18
Metodologia di prova	19
Risultati	20
Discussione	22
Conclusioni	22
Riferimenti	23
Valutazione delle Misure di Cambio di Direzione	24
Introduzione	24
Test di prestazione TPDev CoD	26
Risultati	28
Conclusioni	30
Riferimenti	31
ALLEGATO A: Elenco dei parametri di TalentPlayers	32

Sport Performance Tracking: GPS vs Sensori inerziali

Antonio Di Stefano, Ph.D.

Rev. 1 [maggio 2019]

Introduzione

Il tracking delle prestazioni sportive ha guadagnato negli ultimi anni molto interesse e una grande diffusione, soprattutto nello sport d'élite e sub-élite. L'obiettivo del performance tracking è quello di valutare quantitativamente le prestazioni dell'atleta durante l'allenamento o le partite e di scegliere e ottimizzare la strategia di allenamento. Questo permette di aumentare l'efficacia dell'allenamento, di calibrare ed equilibrare i carichi di lavoro in base al reale dispendio energetico e di ridurre la probabilità di infortuni dovuti a sollecitazioni fisiche eccessive [1][2].

Oggi, le società professionistiche di alto livello in diversi sport (ad esempio calcio, rugby, ecc.) impiegano abitualmente tecnologie di misura delle prestazioni, acquisendo parametri quali posizione, velocità, distanza, accelerazioni e cambio di direzione di ogni atleta [3]. Partendo da questi dati, altre informazioni rilevanti possono essere calcolate a posteriori (cioè dopo la sessione), come il carico metabolico [4], le soglie di velocità/accelerazione, il cambio di direzione, gli sprint, la distanza totale, ecc.

Negli anni passati è stata fatta molta esperienza con strumenti di misura delle prestazioni basati sulla tecnologia GPS (nota: il termine "GPS" usato in questo documento si riferisce anche ad altri sistemi di posizionamento satellitare come Galileo, GLONASS, Beidou, ecc. che hanno caratteristiche simili in questo contesto). Questa tecnologia si è dimostrata un modo semplice ed efficace per acquisire e misurare i dati rilevanti dei giocatori [5][6].

Negli ultimi anni, tuttavia, la disponibilità di sensori inerziali miniaturizzati e precisi (in particolare accelerometri e giroscopi) ha notevolmente ampliato la possibilità di monitorare le prestazioni sportive, rendendo possibili approcci alternativi e ancora più avanzati [7][8].

Le prossime sezioni spiegheranno la differenza tra le due tecnologie, evidenziando le possibilità, i limiti, nonché i pro e i contro di ogni approccio.

Capire la tecnologia GPS

Il sistema GPS è progettato per fornire la posizione esatta di un dispositivo di ricezione sulla superficie del pianeta. Questa posizione viene calcolata risolvendo equazioni molto complesse basate sulla tempistica di ricezione dei segnali inviati da una costellazione di satelliti. Questo calcolo viene effettuato ripetutamente, fornendo una nuova posizione a frequenza regolare. Questo permette anche di tracciare il movimento del ricevitore. Il ricevitore GPS tradizionale forniva solo 1 aggiornamento di posizione al secondo (1 Hz), i dispositivi più recenti consentono velocità di trasmissione dati molto più veloci (superiori a 20 Hz) [9].

I ricevitori calcolano anche la velocità al suolo e la direzione di marcia. Questi dati sono particolarmente rilevanti nelle applicazioni sportive. Sia la velocità che la direzione sono comunque ottenute indirettamente dai dati di posizione e dalle velocità dei satelliti. Altre informazioni importanti, come l'accelerazione e il cambio di direzione, non sono affatto calcolate dal GPS, ma sono derivate a posteriori a partire dai dati disponibili.

La precisione dei dati forniti dal GPS è molto difficile da prevedere e valutare, poiché è influenzata da un gran numero di fattori. Questi includono il numero di satelliti visibili in un dato momento, la loro posizione relativa, le condizioni meteorologiche, gli ostacoli solidi che occludono il cielo o che riflettono i segnali (creando il cosiddetto effetto multipath), e così via.

Anche se l'errore teorico del GPS è ben al di sotto di 1 m, in condizioni reali si possono prevedere errori dell'ordine di 1,5 m - 3 m per ogni punto di posizione. In alcune applicazioni, l'errore può essere notevolmente ridotto facendo la media dei dati nel tempo.

Naturalmente, questo non può essere fatto in applicazioni sportive dove, al contrario, si desidera ottenere i dati di misura il più velocemente possibile al fine di tracciare da vicino le prestazioni dell'atleta. La misurazione delle performance in ambito sportivo è quindi un'applicazione molto impegnativa per la tecnologia GPS, con conseguenti errori che sono generalmente più grandi che in altre applicazioni. Questo problema è ancora più grave se si considerano i dati derivati (distanza totale, accelerazioni, cambi di direzione, carico metabolico ecc.). Gli effetti negativi di cui sopra possono essere in qualche modo contenuti utilizzando un GPS a velocità di trasmissione dati più elevata.

Tuttavia, si possono prevedere errori dell'ordine del 3-5% in ogni caso sia nella distanza che nella stima della velocità [10][11].

I ricevitori GPS veloci sono anche auspicabili per tracciare meglio i movimenti veloci di un atleta durante la sua performance. Vale la pena notare infatti che, in appena 1 secondo, un atleta (soprattutto negli sport d'élite o sub-élite), può cambiare la sua posizione di oltre 5 m, apportando anche cambiamenti di velocità e direzione. Il tracker GPS lento mancherà la maggior parte di queste caratteristiche, fornendo grandi errori sia nella velocità che nella traiettoria. La Figura 1 illustra questa situazione.

Negli ultimi anni la consapevolezza di queste limitazioni ha spinto all'adozione di ricevitori GPS a più alta frequenza, es. 10-20 Hz, per la misurazione delle performance in ambito sportivo.

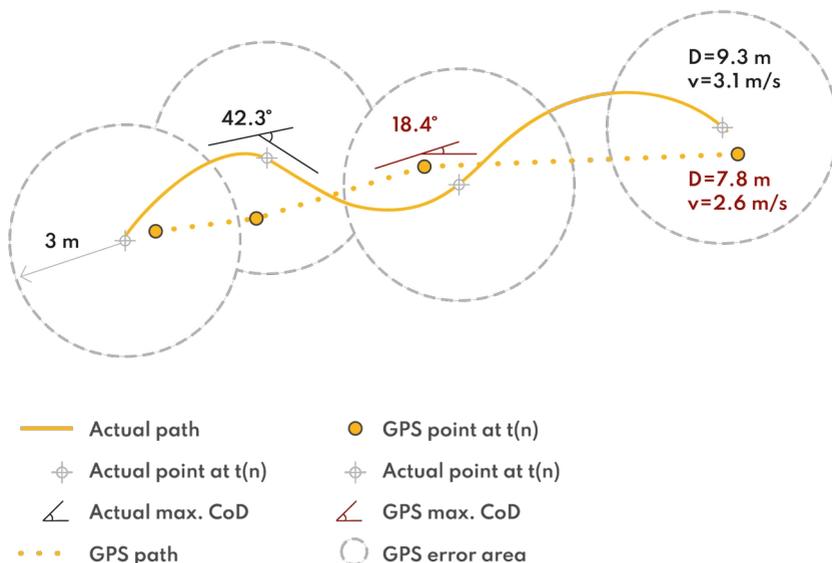


Figura 1 - Dati GPS ottenuti simulando un atleta che corre a 3,1 m/s (media) lungo un percorso curvilineo (il disegno è in scala). Come si può vedere, utilizzando un GPS con una cadenza di dati di 1 Hz e un errore di posizione massimo di 3 m, ci si possono aspettare errori significativi in velocità, distanza e cambio di direzione (CoD). Questi errori sono di natura stocastica, quindi non possono essere previsti né compensati. Per limitare queste imprecisioni sono necessari GPS con una velocità di trasmissione dati più veloce (>10Hz).

Quanto può essere veloce un ricevitore GPS?

I segnali GPS trasmessi dai satelliti hanno un bit rate di 50 Hz. I segnali di temporizzazione, utilizzati per il calcolo della posizione, si ottengono nel processo di rilevamento dei bit (eseguendo una correlazione incrociata). Ciò significa che sarà estremamente difficile, se non impossibile, ottenere una velocità di trasmissione dati in uscita superiore a 50 Hz per un ricevitore GPS. Inoltre, una correlazione con pochi bit implica un segnale molto rumoroso, per cui i dati di posizione risultanti saranno influenzati da errori più grandi.

Di solito le tempistiche derivate da un certo numero di bit vengono mediate per ridurre questi errori, questo processo richiede tuttavia un certo tempo e quindi riduce la velocità finale dei dati. Le stesse considerazioni valgono per la stima della velocità: un aggiornamento più veloce sarà caratterizzato da un rumore maggiore (sia se la velocità è derivata dalla posizione che dallo spostamento del segnale satellitare Doppler). Queste limitazioni sono intrinseche alla fisica dei sistemi, non dipendono dalla qualità del ricevitore.

Secondo alcuni autori [11], il miglior compromesso tra velocità e precisione dei dati si ottiene a circa 20 Hz. Va notato, tuttavia, che i ricevitori GPS commerciali utilizzano solitamente un qualche tipo di processo di filtraggio o di media per ridurre gli errori e il rumore (passa basso, filtro Kalman, fusione dei dati, ecc.) Questo permette di ottenere una maggiore velocità di trasmissione dei dati, ma i dati risultanti sono in qualche modo interpolati piuttosto che misurati [12].

Nonostante queste considerazioni, si può prevedere che la disponibilità di un localizzatore GPS con una maggiore velocità di trasmissione dati aumenterà nei prossimi anni e i relativi costi diminuiranno. La precisione reale, tuttavia, con buona probabilità, non aumenterà molto.

Limitazioni dei dispositivi GPS

I dispositivi sportivi GPS sono strumenti preziosi per il monitoraggio delle prestazioni sportive. Sono facili da usare, ampiamente disponibili e abbastanza efficaci nella maggior parte delle situazioni. C'è anche molta esperienza condivisa nel loro uso, sia come conoscenza pratica che come background scientifico.

Tuttavia, come si è visto in precedenza, hanno alcuni svantaggi caratteristici che ne limitano l'utilizzo o la qualità dei risultati.

Essi sono:

Solo per uso esterno: il segnale satellitare GPS non può penetrare le barriere solide, quindi il dispositivo GPS non può essere utilizzato all'interno, pertanto solo gli sport all'aperto possono beneficiare di questa tecnologia;

Tempo di sincronizzazione: I ricevitori GPS hanno bisogno di un certo tempo all'avvio per trovare e sincronizzarsi con i satelliti. Questo tempo è imprevedibile e può arrivare fino a 20 minuti (in caso di partenza a freddo). Senza una corretta sincronizzazione i dati GPS sono inaffidabili;

Consumo di energia: a causa della loro complessità, i ricevitori GPS (soprattutto i modelli a velocità di trasmissione dati più elevata) richiedono un'elevata potenza elettrica. Ciò significa che le batterie dei tracker sono solitamente ingombranti (grandi e pesanti) rispetto ad altre tecnologie indossabili;

Dimensioni dei dispositivi GPS: a causa della necessità di batterie di grandi dimensioni, antenne piuttosto grandi e involucri robusti, le dimensioni dei dispositivi non sono trascurabili, quindi il posizionamento e la stabilizzazione dei dispositivi sul corpo dell'atleta può essere un problema;

Mancanza di misurazioni fisiche dirette: i dati forniti dal GPS non sono in qualche modo correlati agli effettivi modelli di movimento dell'atleta, in particolare ai movimenti più fini e veloci. Inoltre, alcuni parametri importanti (come l'accelerazione o il cambio di direzione) sono valutati solo indirettamente, non misurati. Questo limite è stato affrontato integrando sensori inerziali in alcuni tracker GPS, ma l'affettività di questo approccio è limitata dai vincoli nel posizionamento del dispositivo sul corpo dell'atleta;

Non possono essere utilizzati durante le gare: molte federazioni sportive vietano l'uso dei dispositivi GPS durante le gare ufficiali. Questa limitazione ha lo scopo di prevenire gli infortuni dovuti alla massa e al volume dei dispositivi usurati. Ciò non consente di raccogliere dati critici durante eventi importanti;

Costi elevati: i migliori dispositivi GPS della categoria (in particolare i modelli >20 Hz) sono attualmente molto costosi. Questo può essere un fattore limitante negli sport di squadra, dove è necessario acquistare un kit di 10-20 unità.

Alla scoperta dei sensori inerziali indossabili

I sensori inerziali sono unità indossabili che impiegano dispositivi elettronici molto piccoli (Micro ElectroMechanical Systems, MEMS) in grado di rilevare forze lineari e angolari legate al movimento. In particolare, gli accelerometri sono in grado di rilevare le accelerazioni e la forza di gravità, mentre i giroscopi sono utilizzati per misurare la velocità di rotazione.

I sensori inerziali MEMS (a volte indicati come Inertial Measurement Unit, IMU) possono misurare il movimento di un singolo punto fisico con 6 gradi di libertà (3 sono relativi alla traslazione, 3 alla rotazione), con una frequenza di campionamento molto alta (da poche decine di Hz fino a qualche KHz). Questo permette di tracciare e misurare con precisione ogni possibile movimento di un punto fisico nel tempo.

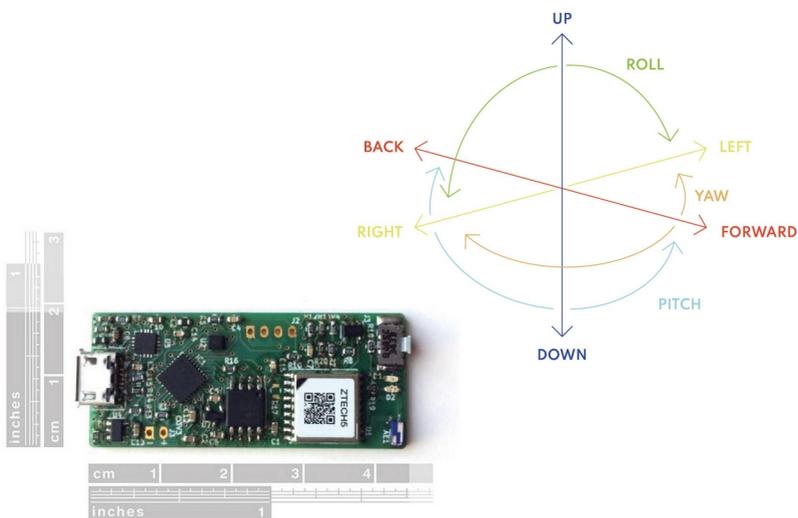


Figura 2 - Un sensore inerziale a 6 gradi di libertà (6DoF) è in grado di acquisire accelerazioni lineari lungo 3 assi (Up-Down, Front-Back, Right-Left) e velocità angolari intorno agli stessi 3 assi (Yaw, Roll, Pitch). Questi dati permettono di tracciare con precisione il movimento e la rotazione di un punto nello spazio tridimensionale. L'immagine a sinistra mostra il circuito TalentPlayer dev I.O, un sensore inerziale con unità GPS integrata.

L'applicazione dei sensori inerziali nel monitoraggio delle prestazioni sportive è relativamente nuova rispetto al GPS. Ciò è dovuto non solo alla loro più recente disponibilità, ma anche alle enormi e diversificate possibilità che offrono. Una rassegna completa e interessante sul loro utilizzo si trova in [13][14].

Grazie alle loro caratteristiche, ovvero dimensioni ridotte e velocità di trasmissione dati molto elevate, i sensori inerziali possono essere utilizzati in molte applicazioni sportive per fornire importanti informazioni sui parametri temporali (valori minimi/massimi, tempo di movimento, durata, ecc.), cinematici (movimenti, orientamento, spostamenti, ecc.) e dinamici (velocità, accelerazioni, ecc.) delle azioni. Ciò ha aperto a interi nuovi campi della ricerca scientifica, registrando un numero di pubblicazioni in rapida crescita ogni anno.

Un punto chiave da notare è che i sensori inerziali possono essere utilizzati non solo per monitorare le prestazioni globali, ma permettono anche di analizzare in dettaglio i modelli di movimento degli atleti per correggere o migliorare la loro tecnica e per diagnosticare o prevenire le lesioni. Quindi le loro applicazioni e la loro utilità vanno ben oltre quelle dei localizzatori GPS.

Posizionamento del sensore inerziale

Poiché i sensori inerziali sono molto piccoli e leggeri, possono essere facilmente posizionati in qualsiasi parte del corpo dell'atleta (dai lacci delle scarpe all'orecchio/capelli), senza ostacolarne il movimento. Il dispositivo tratterà e analizzerà il movimento di quella specifica parte del corpo durante la prestazione fisica. La scelta della posizione è essenziale per ottenere le informazioni desiderate.

Nel golf, ad esempio, un buon punto per posizionare il sensore è il dorso della mano che conduce: questo fornirà preziose informazioni sullo swing (tempismo, velocità, piano, rotazioni, ecc.). Posizionare il sensore sul piede prevalente non fornirebbe alcuna informazione utile.

Gli sport che prevedono la corsa trarranno vantaggio dal posizionamento del sensore sulla parte inferiore del corpo, in modo da poter tracciare con maggiore precisione la dinamica del movimento e il dispendio energetico. Posizionare il sensore nella parte superiore del corpo fornirà solo informazioni parziali o globali.

In sport come il calcio, dove i piedi e la dinamica della parte inferiore della gamba sono di primaria importanza, è auspicabile che i sensori siano posizionati negli arti inferiori (piede, caviglia, stinco). Sono stati pubblicati diversi articoli scientifici sulla migliore collocazione dei sensori, soprattutto in riferimento all'analisi dell'andatura durante la camminata e la corsa o a sport specifici [14] [15].

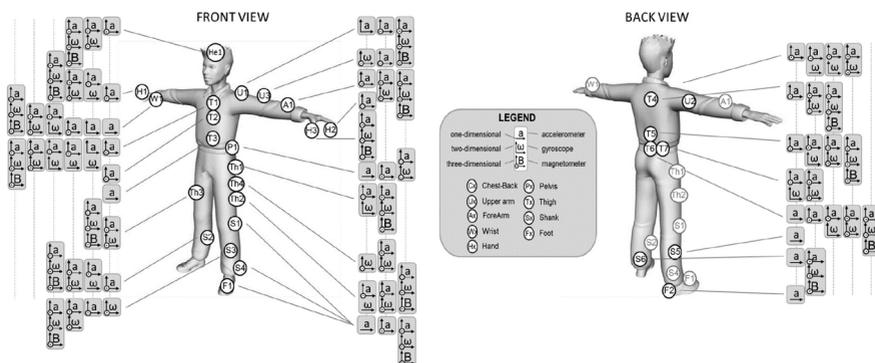


Figura 3 - Possibile posizionamento dei sensori inerziali sul corpo dell'atleta, come recensito in [14]. La posizione ottimale è determinata dal movimento specifico che deve essere analizzato, dalle sue caratteristiche e dagli algoritmi utilizzati.

Gli algoritmi fanno la differenza

Gli algoritmi utilizzati per l'elaborazione dei dati dei sensori inerziali devono essere considerati una parte importante del sistema. La qualità finale dei dati si basa infatti più sugli algoritmi che sul sensore stesso. Ciò è dovuto al fatto che le informazioni rilevanti devono essere estratte da una grande quantità di dati grezzi. Ogni singolo parametro che deve essere misurato richiede un algoritmo dedicato. Inoltre, questi dipendono strettamente dalla posizione del corpo del sensore.

In generale, gli algoritmi utilizzano un modello fisico della parte del corpo in cui il sensore è collegato. Questo modello utilizza l'accelerazione e la velocità angolare acquisite dal sensore e si comporta esattamente come il suo equivalente fisico, ma fornisce tutte le variabili interne.

Un approccio alternativo prevede l'uso di algoritmi di riconoscimento dei modelli e di intelligenza artificiale (AI). Questi sono spesso utilizzati per l'identificazione del movimento, la classificazione e la segmentazione (ad es. auto-tagging video).

A causa di questa enorme varietà di scenari, non è possibile trovare sul mercato un dispositivo "general purpose" basato su sensori inerziali. Esistono invece soluzioni specifiche dedicate a specifiche applicazioni e sport. Le caratteristiche e le prestazioni di questi prodotti possono variare molto, perché di solito utilizzano scelte progettuali diverse (posizionamento, algoritmi, parametri, ecc.). Per questo motivo è necessario prestare attenzione alla valutazione e al benchmarking di un prodotto prima dell'adozione. Ciò sarà particolarmente importante nel prossimo futuro, quando l'offerta commerciale aumenterà a causa del crescente interesse per questo tipo di soluzioni.

Valutazione delle prestazioni dei sensori inerziali

Come già spiegato in precedenza, è quasi impossibile disegnare metriche di prestazioni generiche per i sensori inerziali a causa dell'enorme gamma di applicazioni e configurazioni.

Di sicuro, una cifra importante da considerare è la frequenza di campionamento. La maggior parte dei dati, accelerazioni e velocità angolari, sono campionati a circa 100 Hz, cioè ogni secondo vengono acquisite accelerazioni 3×100 e velocità angolari 3×100 . Sono possibili frequenze di campionamento più elevate (fino ad alcuni KHz), ma poiché i movimenti umani hanno una larghezza di banda inferiore a circa 20 Hz, non è conveniente impiegare frequenze di campionamento più elevate. La risoluzione dei dati è generalmente nell'intervallo da 12 a 16 bit, consentendo ottime prestazioni dinamiche e una risoluzione inferiore a 1 mg di accelerazione e alcune decine di mdeg/s (milligradi al secondo) per la velocità angolare.

Per le applicazioni più comuni, esiste molta letteratura scientifica che descrive le prestazioni tipiche ottenibili, l'accuratezza e le procedure di valutazione. Queste applicazioni includono principalmente la misura della velocità e dell'accelerazione in condizione di camminata e corsa, la distanza totale percorsa e il cambio di direzione. Si tratta delle stesse grandezze di base solitamente fornite dai localizzatori GPS. Quindi, a parte le sostanziali differenze di fondo, si può fare un confronto approssimativo tra le due tecnologie.

Considerando i riferimenti [15][16][17][18], si può concludere che, attraverso una varietà di design diversi, i sensori inerziali possono raggiungere un errore medio nell'intervallo dall'1% al 5% sia nella distanza misurata che nella velocità. I riferimenti più vecchi riportano errori più grandi dovuti all'uso di vecchi sensori inerziali analogici e di algoritmi meno avanzati. I riferimenti più recenti tendono a stabilirsi intorno all'1-3% per distanze nell'intervallo di pochi km e velocità che vanno da 1 a 17 km/h. Come si può notare, questa precisione è abbastanza buona, paragonabile o addirittura migliore di quella ottenibile con i localizzatori GPS [10][11].

La Figura 4 mostra un confronto diretto tra un GPS e un inseguitore di sensori inerziali durante una breve sessione di allenamento. Un atleta ha corso a velocità variabile una pista rettangolare lunga 320 m (considerando solo la traiettoria lineare). Sono stati effettuati due giri: il primo giro a velocità costante, il secondo eseguendo due brevi sprint.

I dati sono stati ottenuti utilizzando contemporaneamente l'app Runtastic con un fitness tracker GPS e un tracker inerziale TalentPlayer v1.0 fissato allo stinco destro dell'atleta. Il tracker GPS è stato attivato 5 minuti prima della corsa (warm start), per ottenere un buon fix. TalentPlayer tracker ha misurato la velocità e la distanza utilizzando un algoritmo di integrazione con la tecnica di aggiornamento a velocità zero [15].

Come si può vedere, il sensore inerziale era notevolmente più preciso nella misurazione della distanza percorsa rispetto al GPS. Il sensore inerziale ha anche fornito un profilo di velocità molto più dettagliato rispetto al GPS. La velocità acquisita era abbastanza simile.

Il percorso dell'atleta è stato fornito solo dal localizzatore GPS, poiché i sensori inerziali non sono generalmente adatti ad acquisire la posizione assoluta, come comunemente si fa con il GPS. Anche se questo è teoricamente possibile, i risultati sarebbero influenzati da errori significativi.

Va notato però che la traccia GPS non è molto precisa, avendo una deviazione significativa dal percorso dell'atleta reale (che era più lineare e ripetibile nei due giri). Questo spiega la distanza erroneamente più lunga misurata dal tracker GPS.

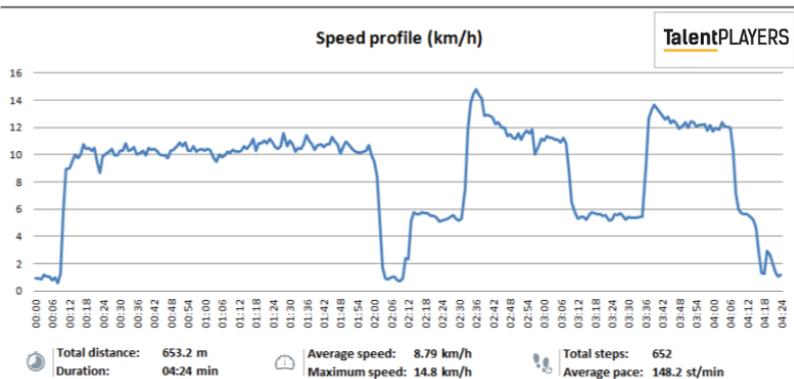


Figura 4 - Confronto sul campo tra un localizzatore GPS (basato sull'applicazione Runtastic) e un localizzatore a sensore inerziale (TalentPlayer dev 1.0). I risultati sono comparabili, ma la distanza misurata dal tracker inerziale era più accurata: 653,2 m contro una distanza di riferimento di 2x320 m + alcuni extra dovuti a traiettorie leggermente arrotondate. Il localizzatore GPS misurava 690 m (0,69 km). Il profilo di velocità fornito dal sensore inerziale è molto più definito rispetto a quello del GPS, soprattutto durante i rapidi cambiamenti di velocità: questo permette una valutazione più accurata della dinamica dello sprint.

Pro e contro dei sensori inerziali

Come regola generale, i sensori inerziali permettono di ottenere quasi le stesse informazioni dei dispositivi GPS, ad eccezione della posizione. La precisione dei dati è in molti casi paragonabile. D'altro canto, i sensori inerziali possono fornire una serie di parametri avanzati e di intuizioni specifiche impossibili da ottenere con i localizzatori GPS. Alcune caratteristiche distintive dei sensori inerziali sono riassunte nei seguenti punti:

Possono essere utilizzati ovunque: rispetto ai dispositivi GPS, i dispositivi a sensore inerziale possono essere utilizzati in ogni luogo, cioè all'interno, in ambienti ingombri (cioè ad alta densità di edifici) e anche sott'acqua;

Possono adattarsi ad ogni sport: scegliendo il posizionamento specifico dei sensori e gli algoritmi, qualsiasi sia il valore delle prestazioni che può essere monitorato e analizzato;

Possono fornire informazioni più dettagliate: il sensore inerziale può fornire non solo dati macroscopici e generali (come la velocità o il consumo di energia), ma anche informazioni tecniche molto dettagliate su movimenti specifici, ad esempio l'equilibrio tra i piedi o il tempo di contatto con il suolo nella corsa, la potenza del calcio, l'altezza del salto e l'esplosività nel calcio, ecc;

Facili da indossare: grazie alla loro leggerezza, i tracker con sensore inerziale sono di solito semplici e non ostacolano i movimenti dell'atleta;

Facile da accoppiare con l'intelligenza artificiale e l'apprendimento automatico: poiché i dati forniti dal sensore inerziale sono molto ricchi di funzionalità, le tecniche di intelligenza artificiale possono essere utilizzate per estrarre informazioni rilevanti sulle prestazioni e le condizioni raggiungibili dall'atleta, e persino per prevedere le sue massime capacità;

Utile nella prevenzione e nel rilevamento degli infortuni: il sensore inerziale può essere utilizzato per monitorare lo stress meccanico su punti specifici del corpo dell'atleta, le cadute o gli urti. Questo può fornire informazioni precise sulla probabilità di lesioni alle ossa, ai muscoli, alle articolazioni;

Facile da integrare con i dispositivi wireless e le tecnologie cloud: i più avanzati dispositivi a sensori inerziali sono in grado di elaborare i dati in tempo reale in modo da fornire un feedback immediato agli allenatori tramite una connessione wireless con un dispositivo mobile (smartphone o tablet) o una piattaforma web (cloud).

Rileva l'orientamento assoluto: tutti i sensori inerziali rilevano la forza di gravità: questo fornisce un riferimento per l'orientamento. A volte i magnetometri sono anche usati per ottenere l'orientamento geografico (tracciando il campo magnetico terrestre, come fanno le bussole). Questo può essere usato in situazioni che richiedono una consapevolezza contestuale;

Non molto adatti per il rilevamento della posizione: al contrario dei dispositivi GPS, i sensori inerziali non sono attualmente molto precisi per il rilevamento della posizione. Tuttavia, si tratta di un'area di ricerca molto attiva (è ad esempio rilevante per il posizionamento al coperto) e molti progressi vengono fatti continuamente. Probabilmente nel prossimo futuro sarà disponibile una serie di tecniche valide.

Conclusioni

La tecnologia dei sensori inerziali è un paradigma molto nuovo nel monitoraggio delle prestazioni sportive. Espande enormemente le possibilità consentite dai tradizionali dispositivi GPS e sta certamente attirando molte attenzioni e interesse. La possibilità di ottenere informazioni dettagliate sugli aspetti tecnici delle prestazioni atletiche è uno dei fattori più interessanti. L'altra possibilità rilevante è legata alla previsione e alla prevenzione degli infortuni. Esistono molte ricerche scientifiche su questi argomenti ma, ad oggi, sono disponibili pochissimi prodotti commerciali che implementino efficacemente questi risultati.

Si può prevedere, tuttavia, che la domanda di questa tecnologia aumenterà ampiamente nei prossimi anni, insieme alla consapevolezza e alla fiducia nel suo utilizzo. Questa tendenza sarà sostenuta anche dal fatto che i localizzatori a sensore inerziale saranno generalmente meno costosi dei localizzatori GPS ad alta velocità.

Riferimenti

1. Hood, S., McBain, T., Portas, M., Spears, I. "*Misurazione nella biomeccanica sportiva*". *Misura. Control* 2012, 45, 182-186.
2. Gabbett T.J., Ullah S. "*Relazione tra carichi in corsa e infortuni ai tessuti molli negli atleti di squadre d'elite*". *J Forza Cond. Res.* 2012;26(4):953-960.
3. Cunniffe B., Proctor W., Baker J., et al. "*Una valutazione delle esigenze fisiologiche del sindacato di rugby d'elite utilizzando il software di tracciamento del sistema di posizionamento globale*". *J Strength Cond Res.* 2009;23(4):1195-203.
4. Osgnach C., Poser S., Bernardini R., Rinaldo R., Di Prampero P.E. "*Costo dell'energia e potenza metabolica nel calcio d'elite: un nuovo approccio all'analisi delle partite*". *Med Sci Sport Exerc.* 2010 gennaio;42(1):170-8.
5. Larsson P. "*Sistema di posizionamento globale e test specifici per lo sport*". *Sports Med.* 2003;33(15):1093-1101.
6. Wisbey B, Montgomery P, Pyne D, et al. "*Quantificare le esigenze di movimento del calcio AFL utilizzando il tracciamento GPS*". *J Sci Med Sport.* 2010;13(5):531-6.
7. Cummins C., Orr R., O'Connor H., et al. "*Sistemi di posizionamento globale (GPS) e sensori microtecnici negli sport di squadra: una revisione sistematica*". *Sports Med.* 2013;43(10):1025-42.
8. Camere R., Gabbett, T.J., Cole, M.H., Beard, A. "*L'uso di microsensori indossabili per quantificare i movimenti specifici dello sport*". *Sports Med.* 2015, 45, 1065-1081.
9. Malone J.J., Lovell R., Varley M.C., Coutts A.J. "*Disimballare la scatola nera*": *Applicazioni e considerazioni per l'uso dei dispositivi GPS nello sport*". *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12, S2-18 -S2-26.

10. Jennings D., Cormack D., Coutts A.J., Boyd L., Aughey R.J. "The Validity and Reliability of GPS Units for Measuring Distance in Team Sport Specific Running Patterns". *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2010, 5, 328-341.
11. Hoppe M.W., Baumgart C., Polglaze T. Freiwald J. "Validità e affidabilità di GPS e LPS per la misurazione delle distanze percorse e delle proprietà meccaniche degli sprint negli sport di squadra". *PLoS ONE* 13(2): e0192708.
12. Johnston R.J., Watsford M.L., Kelly S.J., Pine M.J., Spurr R.W. "Validità e affidabilità interunità di unità GPS a 10 Hz e 15 Hz per valutare le esigenze di movimento degli atleti". *J Cond. di forza Res.* 2014;28(6):1649-1655.
13. Chambers R., Gabbett T.J., Cole, M.H., Beard, A. "L'uso di microsensori indossabili per quantificare i movimenti specifici dello sport". *Sports Med.* 2015, 45, 1065-1081.
14. Camomilla V., Bergamini E., Fantozzi S., Vannozzi G. "Tendenze a supporto dell'uso in campo dei sensori inerziali per la valutazione delle prestazioni sportive: Una revisione sistematica". *Sensori* 2018, 18, 873.
15. Yang S., Li Q. "Metodi basati su sensori inerziali nella stima della velocità a piedi: Una revisione sistematica". *Sensori* 2012, 12, 6102-6116.
16. Zrenner M., Gradl S., Jensen U., Ullrich M., Eskofier B.M. "Confronto di diversi algoritmi per il calcolo della velocità e della lunghezza di passo in corsa con unità di misura inerziale". *Sensori* 2018, 18, 4194;
17. Jimenez A.R., Seco F., Prieto C., Guevara J. "A Comparison of Pedestrian Dead-Reckoning Algorithms using a Low-Cost MEMS IMU". 2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing, Budapest, 2009, pp. 37-42.
18. Wang Q., Ye L., Luo H., Men A., Zhao F., Huang Y. "Pedestrian Stride-Length Estimation Based on LSTM and Denoising Autoencoders". *Sensori* 2019, 19, 840;

Valutazione delle prestazioni della tecnologia inerziale TalentPlayers

Di Stefano, Ph.D. V. Li Vigni, Ph.D. F. Buccheri, Ph.D. Rev. 1 | settembre 2020 |

Introduzione

Negli ultimi anni l'uso delle tecnologie di monitoraggio sportivo è diventato molto comune, soprattutto negli sport d'élite. Permette di valutare il volume e l'intensità dello sforzo fisico degli atleti e fornisce utili spunti per migliorare l'efficacia delle sessioni di allenamento. La maggior parte delle soluzioni di monitoraggio attualmente disponibili sul mercato si basa sulla tecnologia GPS. Essa permette di tracciare la posizione dell'atleta, la velocità, la direzione e di calcolare molte altre grandezze, di solito legate alla spesa energetica e alla potenza metabolica. La tecnologia GPS presenta tuttavia alcuni inconvenienti: i dispositivi possono essere utilizzati solo all'aperto e le loro prestazioni dipendono dalla visibilità del cielo; tendono ad essere ingombranti a causa delle grandi batterie necessarie per alimentare il ricevitore; e se si desiderano dati di alta qualità (cioè affetti da errori inferiori), è necessario utilizzare soluzioni costose. Per superare tutti questi problemi, **TalentPlayer ha sviluppato una nuova tecnologia interamente basata su sensori inerziali**. Questa tecnologia fornisce **le stesse informazioni dei localizzatori GPS di alta qualità**, con una serie di vantaggi: il movimento viene misurato direttamente invece di essere calcolato, i dispositivi sono più piccoli e più leggeri, **possono essere utilizzati anche durante le sessioni al chiuso**, e **sono notevolmente più economici dei localizzatori GPS di fascia alta**, pur fornendo prestazioni simili. Tuttavia, poiché i dispositivi inerziali sono una tecnologia molto nuova, è importante valutare a fondo le loro prestazioni. Lo scopo di questo lavoro è quello di testare il dispositivo inerziale TalentPlayer e di valutarne le prestazioni, utilizzando misurazioni dirette e metodi raccomandati dalla Federazione Internazionale delle Associazioni Calcistiche (FIFA), che ha recentemente emesso uno standard per la valutazione delle prestazioni dei sistemi elettronici di performance e tracciamento (EPTS) [1]. I test confermano che le **prestazioni dei dispositivi TPDev corrispondono a quelle dei GPS di alta qualità** in termini di errori su velocità e distanza.

Dispositivo Inerziale TPDev

Il dispositivo inerziale TPDev è un piccolo dispositivo elettronico indossabile (Fig. 1) che integra un sensore inerziale MEMS a 6 gradi di libertà, in grado di fornire dati di accelerazione e di rotazione lungo i 3 assi. È progettato per essere indossato sulla parte inferiore della gamba, per mezzo di un elastico o di un parastinco appositamente progettato, ed è in grado di acquisire dati di **accelerazione e di rotazione** con una velocità di **600 campioni al secondo**. I dati vengono analizzati in tempo reale dal dispositivo, utilizzando modelli matematici proprietari che tengono conto delle caratteristiche cinematiche, dinamiche ed energetiche del movimento. Questo permette di ottenere la **velocità, l'accelerazione, la distanza e il cambio di direzione dell'atleta istantaneo e di ricavare le figure metaboliche più comuni**. I dati acquisiti vengono immagazzinati nella memoria del dispositivo e possono essere scaricati da uno smartphone o da un tablet via Bluetooth. I dati possono essere consultati immediatamente sul dispositivo mobile, oppure possono essere caricati nella piattaforma web TalentPlayers per la memorizzazione e la successiva analisi. Il dispositivo TPDev è molto piccolo e leggero, quindi può essere indossato facilmente e senza interferenze con il movimento dell'atleta. **La batteria e la memoria permettono fino a 4 ore di acquisizione dati.**



Figura 1 - Il dispositivo di tracciamento TPDev, la fascia elastica e il parastinco per indossarlo, e uno screenshot della piattaforma web.

Metodologia di prova

I test eseguiti erano finalizzati a valutare l'accuratezza del TPDev (errori) in velocità e distanza. Gli errori sulla distanza sono stati misurati direttamente, mentre gli errori sulla velocità sono stati valutati seguendo la metodologia descritta nella norma FIFA [1]. La metodologia FIFA consiste nell'utilizzare l'analisi del movimento video come riferimento e nel confrontare i dati di velocità ottenuti dal dispositivo in prova con i dati del video. Le serie temporali dei dati vengono prima ricampionate alla stessa velocità, poi allineate valutando la correlazione incrociata. Infine, viene presa la differenza da campione a campione e viene tracciata la distribuzione dell'errore.

I nostri test sono stati effettuati su una pista lineare di 100,0 m che è stata accuratamente misurata con un nastro di misurazione e verificata rispetto ad altri riferimenti (mappe, GPS). La lunghezza è risultata corretta entro pochi centimetri (cioè 10^{-2} m, ovvero 0,01%). Sono stati impiegati due atleti istruiti a correre e camminare per tutta la lunghezza della pista. I soggetti avevano un'età compresa tra i 30 e i 40 anni e un'altezza compresa tra 1,70 m e 1,85 m. Le corse sono state registrate con una telecamera ad alta velocità, acquisendo video ad alta definizione (1920 x 1080 pixel) a 100 fotogrammi al secondo, e posizionate nel punto centrale, a circa 90° rispetto alla pista (vedi un fotogramma in Fig. 2).

Il TPDev è stato attaccato allo stinco inferiore dell'atleta per mezzo di un elastico. In totale sono state eseguite e registrate 4 corse e 3 camminate. Il TPDev e la telecamera hanno acquisito in modo indipendente e contemporaneamente queste corse.

Le registrazioni video sono state analizzate utilizzando il software di analisi del movimento Kinovea [2][3] per estrarre dati istantanei sulla velocità.



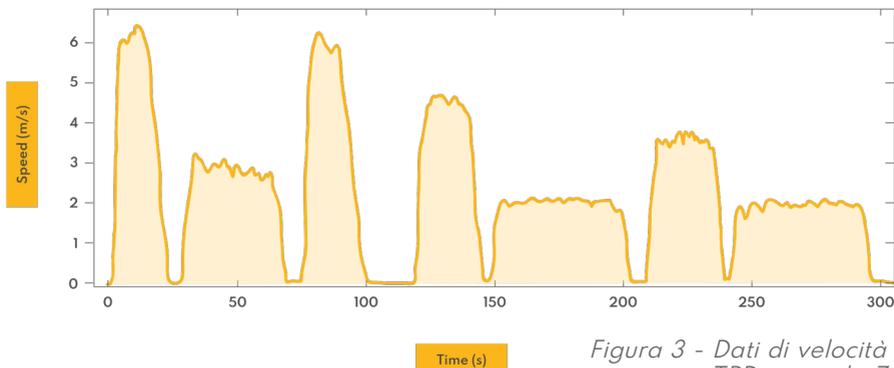
Figura 2 - Un fotogramma del video registrato che mostra la griglia di misurazione, la traiettoria della velocità e l'atleta durante la corsa (cerchio giallo).

Le serie di dati del TPDev e della telecamera sono state quindi ricampionate a 10 Hz (10 campioni al secondo), allineate utilizzando la correlazione incrociata e sottratte per ottenere l'errore.

Inoltre, per ogni corsa, l'errore complessivo sulla lunghezza del binario ottenuto dal TPDev è stato calcolato direttamente confrontando la distanza di corsa fornita dal dispositivo con la lunghezza nota del binario (100,0 m).

Risultati

I dati di velocità acquisiti dal TPDev sono mostrati in Fig. 3. Si possono distinguere chiaramente le quattro corse e le tre sequenze di marcia. La velocità di punta varia da 6,45 m/s (23,2 km/h) della corsa più veloce a 2,11 m/s (7,59 km/h) della camminata più lenta. La distanza fornita dal dispositivo per ogni corsa può essere direttamente confrontata con la lunghezza del percorso (cioè 100,0 m), e quindi l'errore assoluto e relativo può essere calcolato direttamente, come mostrato nella Tabella 1.



Come si può vedere, l'errore massimo è di 2,61 m (o 2,61%), mentre l'errore medio su tutte le corse è di -0,66 m (o -0,66%).

La Figura 4 mostra invece il confronto tra i dati di velocità dell'analisi video e il dispositivo TPDev, entrambi ricampionati a 10 Hz.

ERRORE DI DISTANZA				
NOME	TPDev dist. (m)	Rif. Dist.	Errore (m)	Errore (%)
Esegui 1A	102.11	100.0	2.11	-2.11
Passeggiata 1A	101.52	100.0	1.52	-1.52
Esegui 2A	101.79	100.0	1.79	-1.79
Esegui 1B	99.02	100.0	-0.98	0.98
Passeggiata 1B	100.83	100.0	0.83	-0.83
Esegui 2B	97.39	100.0	-2.61	2.61
Passeggiata 2B	101.96	100.0	1.96	-1.96
Errore medio			-0.66	

Tabella 1 - Valutazione dell'errore TPDev sulla distanza.

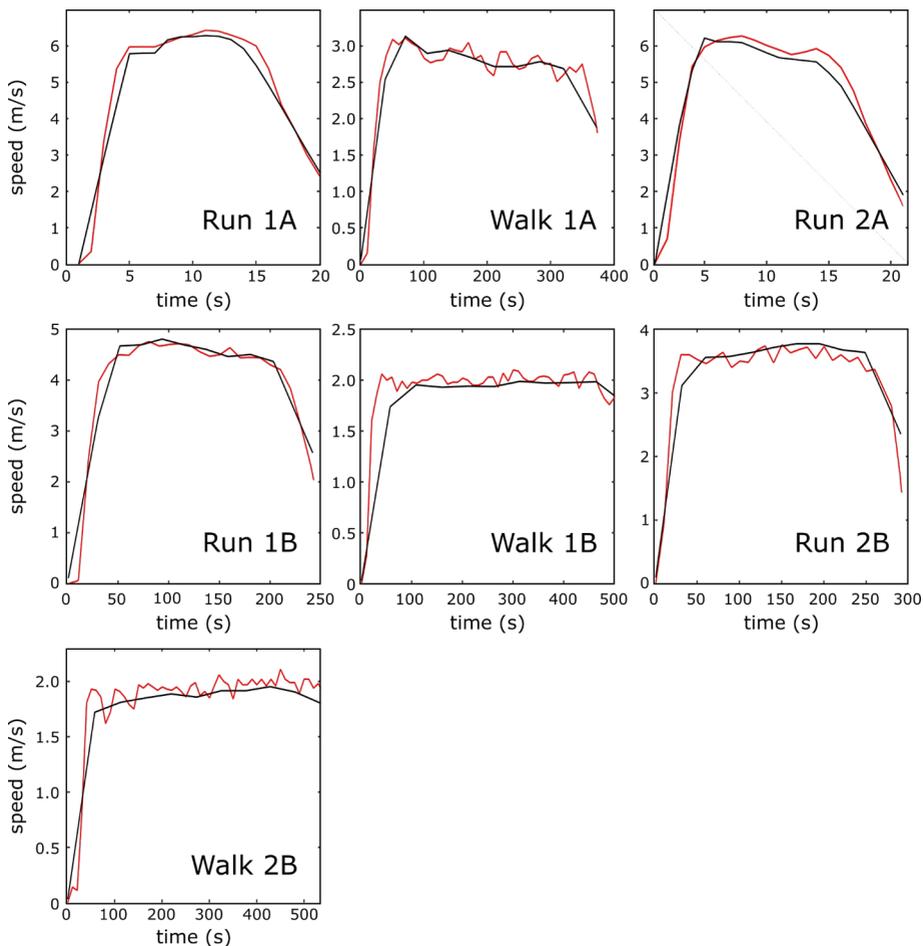


Figura 4 - Confronto tra i dati di velocità ottenuti dal TPDev (linea rossa) e l'analisi video (linea nera) per le 7 prove. L'unità di misura della velocità è m/s (asse verticale), l'unità di misura del tempo è il secondo (asse orizzontale).

La distribuzione degli errori cumulativi per **2383 punti dati**, rappresentata come descritto nella norma FIFA, fornisce il risultato mostrato nella Figura 5. Questo grafico mostra un **errore medio di 0,038 m/s** con un livello di confidenza del 95% di 0,01 m/s e una deviazione standard di 0,25 m/s.

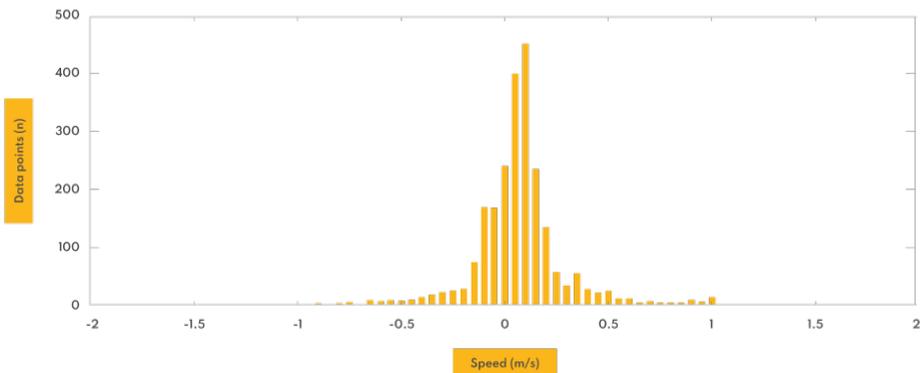


Figura 5 - Istogramma dell'errore cumulativo di velocità del TPDev per le 7 prove.

Discussione

I test eseguiti mostrano che l'inseguitore inerziale TPDev presentava un errore assoluto massimo di 2,6 m (2,6%) nella misurazione della distanza, con un errore medio di 0,66 m in varie corse. Questo risultato può essere considerato abbastanza buono, in quanto è paragonabile a quello ottenuto con tracker GPS di buona qualità, che di solito presenta errori dell'ordine di 3 m (fortemente dipendenti dalle condizioni ambientali e dallo stato di correzione dei satelliti) [4]. Inoltre, gli errori nella misurazione della velocità ($0,038 \pm 0,01$ m/s) sono paragonabili alla maggior parte dei localizzatori GPS di fascia alta testati e qualificati dalla FIFA [5][6].

Conclusioni

Il dispositivo inerziale TPDev è stato testato per valutare la qualità e l'affidabilità dei suoi dati. È stata utilizzata una metodologia diretta per valutare l'errore sulla distanza ed è stata impiegata una metodologia standard, proposta dalla FIFA e basata sull'analisi del movimento video, per valutare l'errore sulla misurazione della velocità. I risultati mostrano che gli errori sono inferiori al 3% (in media inferiore all'1%) per la distanza e inferiori all'1% per la velocità. Questi errori sono paragonabili ai dispositivi GPS di fascia alta. Il dispositivo TPDev mantiene comunque alcuni vantaggi rispetto alla tecnologia GPS, in particolare la possibilità di essere utilizzato all'interno, il fattore di forma più piccolo e leggero e il costo più basso. Questo rende TPDev una tecnologia molto conveniente da utilizzare, in alternativa o in aggiunta ai tradizionali localizzatori GPS o video.

Riferimenti

1. FIFA, "*Handbook of test methods for EPTS devices*", luglio 2019.
2. Puig-Diví A. et al. , "*Validità e affidabilità del programma Kinovea nell'ottenere angoli e distanze utilizzando coordinate in 4 prospettive*", PLoS ONE 14(6), giugno 2019.
3. Nor Muaza Nor Adnan et al., "*Biomechanical analysis using Kinovea for sports application*", IOP Conf. Serie: Scienza dei materiali e ingegneria 342, 2018.
4. Hoppe M. W. et al. , "*Validità e affidabilità di GPS e LPS per la misurazione delle distanze percorse e delle proprietà meccaniche dello sprint negli sport di squadra*", PLoS ONE 13(2), febbraio 2018.
5. FIFA, "*EPTS Performance Test Report - Catapult S5*", luglio 2019.
6. FIFA, "*EPTS Performance Test Report - STATSports Apex*", luglio 2019.

Valutazione delle Misure di Cambio di Direzione

Di Stefano, Ph.D V, Li Vigni, Ph.D F, Buccheri, Ph.D Rev. I | novembre 2020 |

Introduzione

La tecnologia inerziale TalentPlayers si basa su principi di funzionamento diversi rispetto ai comuni dispositivi GPS, ma può fornire gli stessi parametri, con la stessa o anche migliore precisione come discusso in [1] e [2]. Indipendentemente dalle tecnologie specifiche, è abbastanza facile valutare la precisione delle misure di un dispositivo di monitoraggio sportivo riguardo alla distanza, alla velocità e all'output metabolico. Tuttavia, testare o confrontare la precisione sul cambio di direzione (CoD) può essere un compito piuttosto impegnativo. Ciò è dovuto alla definizione piuttosto qualitativa di "Cambio di direzione" e alla differente interpretazione di questo parametro tra i dispositivi commerciali più comuni.



Figura 1 - Il dispositivo di tracciamento TPDev, la fascia elastica e il parastinco per indossarlo, e uno screenshot della piattaforma web.

Mentre la distanza, la velocità, le accelerazioni, la potenza metabolica o l'energia sono quantità scalari ben definite, che possono essere misurate con precisione (e confrontate con i riferimenti), i CoD mancano addirittura di una definizione dettagliata e standard. Ad oggi non esistono standard per testare le prestazioni di tracciamento dei CoD nella letteratura scientifica o nella pratica industriale, e anche questo problema non è affrontato dallo standard di test FIFA per i dispositivi indossabili [3][4][5]. Da un punto di vista puramente geometrico, un CoD è una deviazione angolare della traiettoria. Si tratta di una definizione quantitativa molto semplice e può essere usata come punto di partenza per valutare la capacità del dispositivo di misurare accuratamente i CoD. Tuttavia, questa definizione non caratterizza la prestazione di un atleta e il relativo stress fisico durante una partita o una sessione di allenamento. Per ottenere queste informazioni significative, l'angolo di deviazione deve anche essere correlato con la velocità, l'accelerazione, la durata del movimento rotatorio e lo squilibrio cumulato tra le deviazioni a destra e a sinistra. Questo è importante anche perché i dati grezzi della traiettoria sono di per sé molto "rumorosi" e difficili da leggere. La tecnologia TalentPlayers fornisce entrambi questi livelli di informazione: i dispositivi TPDev registrano continuamente il cambiamento dell'angolo di direzione del movimento dell'atleta, mentre la piattaforma Web TalentPlayers mette in relazione queste informazioni con altri parametri per estrarre solo le informazioni atletiche più rilevanti. Il vantaggio di questo approccio è che i dati grezzi completi vengono catturati durante il movimento, ma le informazioni significative rilevanti vengono estratte successivamente (*a posteriori*).

Questi sono alcuni dei parametri di base forniti dalla Piattaforma Web:

- Numero di CoD di destra >30
- Numero di CoDs di sinistra >30
- Angolo retto massimo
- Angolo massimo a sinistra
- Angolo retto medio
- Angolo sinistro medio
- Sbilanciamento totale

Durante la fase di elaborazione dei dati, la deviazione della traiettoria è considerata un CoD significativo se l'angolo di rotazione è superiore a 15° , la velocità istantanea dell'atleta è superiore a 2 m/s e la rotazione è completata in meno di 2 secondi. Questi parametri rappresentano una definizione abbastanza ottimale di CoD significativo, tuttavia sono configurabili se lo si desidera.

I dati massimi e medi sono calcolati continuamente sui dati grezzi, non da singoli CoD estratti, quindi sono molto rappresentativi dei movimenti rotatori dell'intero atleta (da cui, per esempio, si può calcolare accuratamente lo stress da squilibrio).

Poiché i parametri di elaborazione possono essere facilmente modificati e perfezionati *a posteriori*, questo documento si concentrerà sulla caratterizzazione del dispositivo stesso, in termini di risoluzione, precisione e ripetibilità.

Test di prestazione TPDev CoD

Il seguente test è stato progettato per valutare la risoluzione, l'accuratezza e la ripetibilità della misura dell'angolo fornita dal TPDev.

Due soggetti hanno indossato l'inseguitore TPDev nella parte inferiore della gamba dominante per mezzo di un elastico. I soggetti corrono a velocità di jogging lungo un percorso da 3 segmenti in avanti e indietro, come mostrato in Fig. 2.

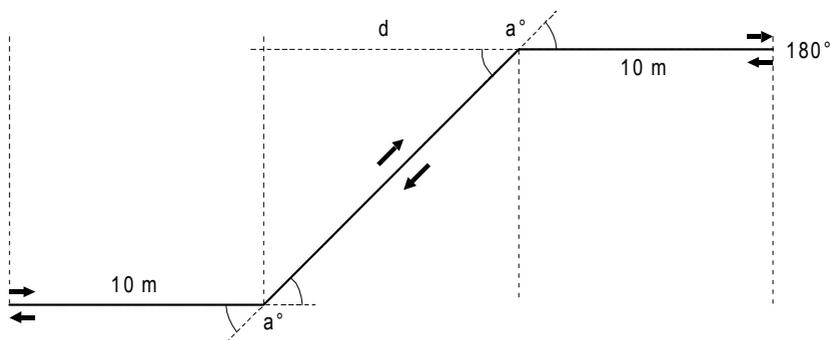


Figura 2 - Schema della traccia, composto da 3 segmenti che formano 2 angoli uguali a seconda della distanza d e un giro di 180° alla fine.

Il segmento centrale è stato impostato ad angoli diversi durante la prova per misurare angoli più piccoli (14°) e angoli molto più grandi (90°). Inoltre, alla fine della pista viene eseguita una rotazione di 180° per tornare al punto di partenza. Una corsa completa implica quindi:

- 10 m di traiettoria rettilinea
- Girare a sinistra di un determinato angolo
- Girare a destra con lo stesso angolo
- 10 m di traiettoria rettilinea
- Un giro di 180°
- Girare a sinistra di un determinato angolo
- Girare a destra con lo stesso angolo
- 10 m di traiettoria rettilinea (fino al punto di partenza)

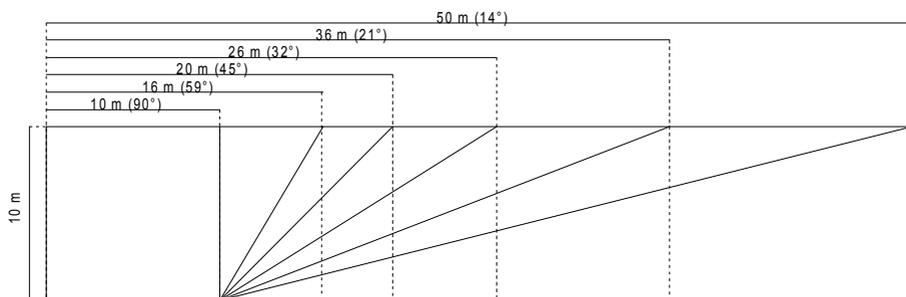


Figura 3 - Angoli testati e come ottenerli geometricamente impostando la distanza del secondo punto di svolta. L'angolo è dato da $\alpha = \tan^{-1}(10/(d-10))$, dove α nell'angolo e d è la distanza del secondo punto di svolta.

Una corsa completa lungo il percorso fornisce le misure degli angoli di CoD due volte verso sinistra e due volte verso destra. Gli angoli di prova sono stati scelti partendo da angoli molto piccoli (14°) in modo da testare la sensibilità del dispositivo (risoluzione), mentre vari passi di angoli (fino a 90°) sono stati scelti per caratterizzare la sua precisione. Le ripetizioni permettono di caratterizzare la ripetibilità. La figura 3 mostra la costruzione della pista, che può essere fatta fissando il primo punto di svolta e spostando il secondo alla distanza specificata.

Va notato che, nonostante la semplicità di questa configurazione e di questo test, ci si deve aspettare qualche errore di esecuzione che si aggiunge al risultato. Questi sono dovuti sia ad errori di misura e di allineamento sulla pista, sia nell'esecuzione del test da parte dell'atleta, che non può eseguire un CoD geometricamente tagliente e di solito tende ad approssimarli con piccoli archi. Inoltre, più piccolo è l'angolo, più tardi l'atleta noterà qualsiasi errore e correggerà la sua traiettoria. Angoli più piccoli sono anche più influenzati da piccoli movimenti casuali che agiscono come rumore rispetto alla quantità misurata.

Risultati

La Figura 4 mostra, a titolo di esempio, i dati grezzi acquisiti da un soggetto durante il test. Si tratta dei dati grezzi registrati dal dispositivo, che vengono successivamente elaborati dalla Piattaforma Web. Come si può vedere, i dati grezzi della traiettoria sono molto ricchi di informazioni ma abbastanza difficili da interpretare, per cui la fase di elaborazione è molto utile per estrarre solo i dati CoD rilevanti.

I risultati dei test sono riassunti nella Tabella 1.



Figura 4 - Dati grezzi della prova del soggetto A. Si può notare che la velocità media di jogging è stata di circa 10 km/h (linea blu), mentre i CoD sono riconoscibili come picchi nella curva di traiettoria (linea rossa) che diminuiscono in ampiezza durante l'esecuzione della prova (vedi Fig. 3).

Gli angoli di interesse del CoD sono stati estratti dai dati grezzi dei due test eseguiti (per il soggetto A e B) e poi mediati per poterli confrontare con il riferimento e valutare l'errore assoluto. Questo errore incorpora anche tutti gli errori sistematici che sono stati discussi in precedenza. La Figura 5 illustra graficamente i risultati: si può facilmente riconoscere che gli angoli misurati sono in buon accordo con quelli di riferimento (progettati). Inoltre, gli errori sono abbastanza piccoli e si notano solo nel caso di angoli molto piccoli, dove gli errori sistematici hanno un impatto maggiore.

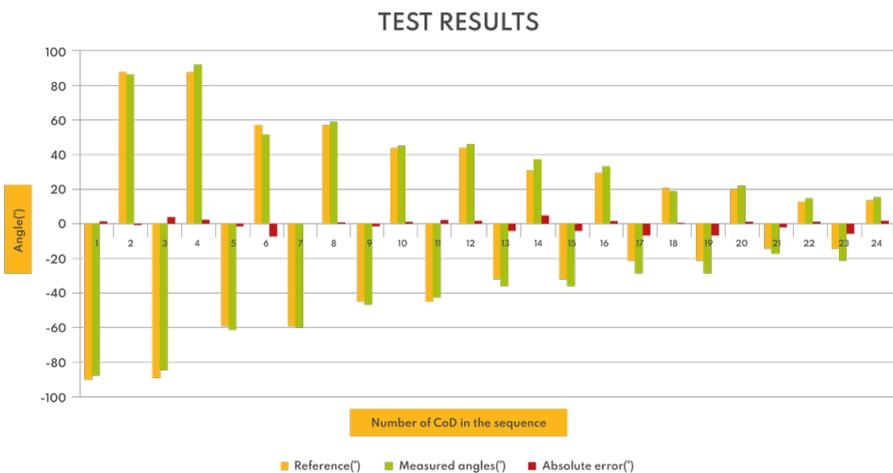


Figura 5 - Risultati della prova: confronto tra l'angolo di riferimento (barre blu) e quello misurato (barre rosse) e l'errore assoluto (barre verdi).

Riferimento (°)	Oggetto A (°)	Oggetto B (°)	Media dei test (°)	Errore assoluto (°)
-90	-83	-93	-88	2
90	99	79	89	-1
-90	-71	-99	-85	5
90	89	99	94	4
-59	-64	-58	-61	-2
59	53	53	53	-6
-59	-56	-63	-59.5	-0.5
59	61	58	59.5	0.5
-45	-47	-47	-47	-2
45	47	45	46	1
-45	-36	-48	-42	3
45	47	49	48	3
-32	-27	-44	-35.5	-3.5
32	39	37	38	6
-32	-30	-41	-35.5	-3.5
32	37	32	34.5	2.5
-21	-17	-39	-28	-7
21	25	16	20.5	-0.5
-21	-24	-32	-28	-7
21	23	21	22	1
-14	-18	-16	-17	-3
14	17	13	15	1
-14	-23	-18	-20.5	-6.5
14	18	16	17	3

Errore medio -0.4375

Tabella 1 - Risultati dei test numerici.

Conclusioni

I test eseguiti mostrano che il dispositivo inerziale TPDev è in grado di misurare con precisione gli angoli di CoD con un errore assoluto di pochi gradi e un errore medio su tutte le corse di circa 0,43°. Quest'ultimo dato è particolarmente significativo, infatti singole corse possono presentare errori più grandi a causa delle diverse condizioni e della differenza di esecuzione rispetto al test pianificato, tuttavia questi errori dovrebbero neutralizzare facendo una media su un certo numero di esecuzioni. Entrambi l'errore singolo e medio sono in ogni caso molto piccoli e permettono un buon monitoraggio dell'attività dell'atleta. In particolare, l'errore medio molto piccolo implica che i dati medi, che vengono utilizzati per calcolare ad esempio lo squilibrio, sono molto precisi e affidabili.

Riferimenti

1. Di Stefano A., "*Sport Performance Tracking: GPS vs Sensori inerziali*", TalentPlayers, 2019.
2. Di Stefano A., Buccheri F., Li Vigni V., "*Performance assessment of the TalentPlayer inertial tracking technology*", TalentPlayers, 2020.
3. FIFA, "*Handbook of test methods for EPTS devices*", luglio 2019.
4. FIFA, "*EPTS Performance Test Report - Catapult S5*", luglio 2019.
5. FIFA, "*EPTS Performance Test Report - STATSports Apex*", luglio 2019.

ALLEGATO A

Elenco dei parametri di TalentPlayers

Questo è un elenco di tutti i parametri che possono essere attualmente ottenuti dagli inseguitori TP Dev. Ulteriori parametri possono essere calcolati su richiesta.

PARAMETRO	UNITÀ	SPIEGAZIONE
Inizio split	s	Ora di inizio della registrazione o dello split
File split	s	Ora fine registrazione o split. Nota: Fine-Inizio = durata split
Velocità e distanza		
Distanza totale	m	Distanza totale (comprende tratti camminati)
Distanza al minuto	m/min	Distanza media percorsa per minuto
Velocità massima	km/h	Velocità massima
Velocità media	km/h	Velocità media
N. di accelerazioni	cont	Numero di accelerazioni $> 2 \text{ m/s}^2$
N. di decelerazioni	cont	Numero di decelerazioni $< -2 \text{ m/s}^2$
Distanza in accelerazione	m	Distanza percorsa con accelerazione positiva (cioè a velocità crescente)
Distanza in decelerazione	m	Distanza percorsa con accelerazione negativa (cioè a velocità decrescente)
Distanza a accel. elevata	m	Distanza percorsa ad alta accelerazione ($> 2 \text{ m/s}^2$)
Distanza a decel. elevata	m	Distanza percorsa ad alta decelerazione ($< -2 \text{ m/s}^2$)
Accelerazione massima	m/s^2	Accelerazione massima
Accelerazione media	m/s^2	Accelerazione media
Decelerazione massima	m/s^2	Decelerazione massima
Decelerazione media	m/s^2	Decelerazione media
N. di sprint	cont	Numero di sprint, ossia corse a $> 20 \text{ km/h}$
Velocità max. sprint	km/h	Velocità massima durante uno sprint
Velocità med. dprint	km/h	Velocità media durante gli sprint
Durata massima sprint	s	Durata massima degli sprint
Durata media sprint	s	Durata media degli sprint
Tempo a $<6\text{km/h}$	s	Tempo trascorso nella zona di velocità 1
Tempo a $6-11\text{km/h}$	s	Tempo trascorso nella zona di velocità 2
Tempo a $11-16\text{km/h}$	s	Tempo trascorso nella zona di velocità 3
Tempo a $16-20\text{km/h}$	s	Tempo trascorso nella zona di velocità 4
Tempo a $>20\text{km/h}$	s	Tempo trascorso nella zona di velocità 5
Distanza a $<6\text{km/h}$	m	Distanza percorsa nella zona di velocità 1
Distanza a $6-11\text{km/h}$	m	Distanza percorsa nella zona di velocità 2
Distanza a $11-16\text{km/h}$	m	Distanza percorsa nella zona di velocità 3
Distanza a $16-20\text{km/h}$	m	Distanza percorsa nella zona di velocità 4
Distanza a $>20\text{km/h}$	m	Distanza percorsa nella zona di velocità 5

PARAMETRO	UNITÀ	SPIEGAZIONE
Potenza metabolica		
Potenza metabolica	W/kg	Potenza metabolica totale (modello di Di Prampero-Osgnach)
Energia spesa	kJ/kg	Energia totale spesa (modello di Di Prampero-Osgnach)
Distanza equivalente	m	Distanza equivalente (modello di Di Prampero-Osgnach)
Work ratio	%	Percentuale di tempo speso a potenza metabolica > 5 kJ/kg
Tempo a P.met. <10	s	Tempo trascorso nella zona di potenza metabolica 1
Tempo a P.met. 10-20	s	Tempo trascorso nella zona di potenza metabolica 2
Tempo a P.met. 20-35	s	Tempo trascorso nella zona di potenza metabolica 3
Tempo a P.met. 35-55	s	Tempo trascorso nella zona di potenza metabolica 4
Tempo a P.met. >55	s	Tempo trascorso nella zona di potenza metabolica 5
Distanza a P.met. <10	m	Distanza percorsa nella zona di potenza metabolica 1
Distanza a P.met. 10-20	m	Distanza percorsa nella zona di potenza metabolica 2
Distanza a P.met. 20-35	m	Distanza percorsa nella zona di potenza metabolica 3
Distanza a P.met. 35-55	m	Distanza percorsa nella zona di potenza metabolica 4
Distanza a P.met. >55	m	Distanza percorsa nella zona di potenza metabolica 5
Energia a P.met. <10	kJ/kg	Energia spesa nella zona di potenza metabolica 1
Energia a P.met. 10-20	kJ/kg	Energia spesa nella zona di potenza metabolica 2
Energia a P.met. 20-35	kJ/kg	Energia spesa nella zona di potenza metabolica 3
Energia a P.met. 35-55	kJ/kg	Energia spesa nella zona di potenza metabolica 4
Energia a P.met. >55	kJ/kg	Energia spesa nella zona di potenza metabolica 5
Cambi di Direzione		
N. di CoD a destra	cnt	Numero di cambi di direzione a destra >30°, a velocità > 2 m/s e di durata < 2 sec
N. di CoD a sinistra	cnt	Numero di cambi di direzione a sinistra >30°, a velocità > 2 m/s e di durata < 2 sec
Angolo massimo a destra	degree	Angolo massimo a destra
Angolo massimo a sinistra	degree	Angolo massimo a sinistra
Angolo medio a destra	degree	Angolo medio a destra (contegge solo se >15°)
Angolo medio a sinistra	degree	Angolo medio a sinistra (contegge solo se >15°)
Dati grezzi		
Vel	m/s	Campioni di velocità istantanea
Acc	m/s ²	Campioni di accelerazione istantanea (se negativo = decelerazione)
Dir	degree	Angolo di traiettoria istantaneo (positivo = destra, negativo = sinistra)
Pmet	W/kg	Campioni di potenza metabolica istantanea (secondo il modello di Di Prampero-Osgnach con parametri per gioco con palla su terreno erboso)

TalentPLAYERS

Talent IS NOT ENOUGH

www.talentplayers.com

