

Perez Diego Laboratorio di valutazione funzionale, Centro Don Orione Ercolano, Napoli

Di Gironimo Giuseppe Fraunhofer JL IDEAS, Dipartimento di Ingegneria Industriale,

Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Lanzotti Antonio Fraunhofer JL IDEAS, Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli "Federico II"

Sport e tecnologia

Verso un "nuovo occhio" elettronico per la marcia

innovazione tecnologica mette continuamente a disposizione nuovi strumenti per osservare l'atleta.

Questi "occhi" entrano anche all'interno dei regolamenti sportivi come il VAR nel calcio. In questo scenario una disciplina che potrebbe confrontarsi con l'introduzione della tecnologia è la marcia. Tra le sue infrazioni, la perdita di contatto con il terreno risulta la più frequente e al tempo stesso difficile da identificare per l'occhio del giudice e del tecnico. La corretta misura del tempo di volo e classificazione dei passi sono, quindi, argomento di grande interesse. Lo scopo dello studio è presentare lo sviluppo di un sistema innovativo basato sull'utilizzo di un sensore inerziale indossabile per la classificazione delle sequenze di passo. Attraverso il metodo del Kansei Engineering è definita l'architettura del sistema in relazione alle esigenze degli utenti. A partire dai dati del sensore è presentata la stima del tempo di volo e la classificazione del passo in relazione alle peculiarità del regolamento. Con l'utilizzo di un sensore inerziale indossabile sono state effettuate due verifiche sperimentali: (i) in condizioni di laboratorio, validandolo con piattaforme di forza; (ii) su strada a differenti velocità (reali condizioni di allenamento) validandolo, tramite telecamera ad alta frequenza di acquisizione. I risultati mostrano il disegno ottimale del sistema con il sensore posto al termine della colonna vertebrale dell'atleta e l'interpretazione della valutazione del passo su un dispositivo mobile esterno. Le verifiche sperimentali evidenziano (tramite l'applicazione delle metodologie proposte per la stima del tempo di volo e la classificazione delle sequenze di passo) che il sistema può effettivamente migliorare la valutazione attuale nella marcia.



INTRODUZIONE

La diffusione sempre più capillare delle nuove tecnologie nell'universo sportivo è ormai fatto acclarato e tangibile. Primi esempi di questa interazione risalgono al "Timing and Scoring" – la prima funzione tecnologica applicata per le misurazioni sul campo di gara e redazione delle classifiche. Già a partire dal 1945, le strumentazioni hanno consentito in molti sport il passaggio dai cronometraggi manuali a quelli pilotati da cellule fotoelettriche portatili ed impermeabili. Nel 1949 è stato introdotto il fotofinish per determinare con esattezza l'ordine di arrivo e nel 1954, nel basket, è stato introdotto il tabellone dei 24". Nel campo della valutazione funzionale Dal Monte già nel 1982, affermava "la necessità di fornire all'allenatore 'nuovi occhi' che gli permettano di 'quantizzare' e cioè di misurare con sufficiente esattezza i numerosi fenomeni che (...) concorrono alla formazione (...) dell'atleta". L'attualità mostra come, a vari livelli e in molte discipline, l'evoluzione scientifica abbia cambiato radicalmente l'approccio per quanto concerne il monitoraggio dell'allenamento e conseguentemente delle performance degli atleti. I "big data" forniti dalla tecnologia video e di tracciamento, dai dispositivi indossabili (wearable), dai fitness trackers, uniti ai vantaggi offerti dal migliorato equipaggiamento e abbigliamento, suggeriscono l'adozione di nuovi modelli utili sia a conoscere meglio e a valutare l'evoluzione dinamica dello stato generale delle condizioni fisiche dell'atleta sia a supportare il sistema arbitrale.

Di fronte alle nuove tecnologie, lo sport ha un duplice ruolo: contribuire allo sviluppo delle stesse, dotandole di un contenuto, e agire come fattore d'equilibrio affinché il mondo virtuale non le allontani dalla pratica reale di un'attività sportiva.

I PERCORSI TECNOLOGICI PER IL GIUDIZIO NELLO SPORT

La metodologia di analisi può fare, quindi, affidamento su nuovi strumenti dotati di grandi potenze di calcolo, con la possibilità di automatizzare l'elaborazione dei dati in tempi brevi per dare risposte concrete e precise all'allenatore (Dalla Vedova et al. 2006). L'evoluzione tecnologica sta coinvolgendo tutto il mondo dello sport, interessando sia le metodologie di allenamento che le competizioni, tanto da richiamare l'attenzione dei regolamenti sportivi. In tal senso l'attualità tecnologico-sportiva ha raggiunto eccellenti standard qualitativi con margini di errore accettabili. Alcuni recenti esempi sono dati dall'introduzione della tecnologia della moviola, utilizzata già a partire dagli anni '80 nelle gare di football americano. La moviola è un dispositivo, legato al montaggio cinematografico, che prevede la stampa della copia di lavorazione e l'assemblaggio della pellicola, per l'analisi e la visione rallentata di una serie di immagini.

Oggi il ricorso a tale strumento tecnologico, perfezionato dall'uso di telecamere con altissime risoluzioni e frequenze di acquisizione (high speed camera), rappresenta la normalità nella quasi totalità delle discipline sportive. Nel basket si ricorre alla riproduzione video a bordo campo dell'azione appena avvenuta (istant replay). Nella pallavolo entrambe le squadre possono richiedere due "Video Challenge", attraverso 16 telecamere ad alta frequenza, per ogni set, per verificare la caduta a terra della palla dentro o fuori le linee perimetrali o eventuali invasioni a rete da parte degli avversari. Nel rugby dal lontano 2001 il sistema di "Television Match Official" (TMO) permette all'arbitro, quando non è pienamente sicuro della sua decisione su azioni di gioco controverse, di richiedere un parere esterno ad un suo collega (che valuta l'azione in video). Nel tennis e nel cricket abbiamo a partire dal 2006 l'occhio di falco – "Hawk-Eye" riconoscimento ottico attraverso dieci "high speed camera" basato sul principio della triangolazione. Il sistema ha il compito di ricostruire la traiettoria della pallina in maniera tale da poterne stabilire con certezza il punto di rimbalzo sul terreno di gioco per giudicarla dentro o fuori in

modo insindacabile. Il sistema si utilizza dal momento in cui il giocatore ferma il gioco per chiedere il "chalange" (ricorso all'utilizzo dell'istant replay).

Questa strumentazione assolve gli arbitri di sedia da fastidiose decisioni sull'over rule (decisione presa dal giudice di gara contrapposta a quella del giudice di sedia). Ultimamente è stato sperimentato per la prima volta l'hawk-eye "in diretta", cioè un giudice di linea elettronico che chiama la palla al posto di quello umano. Più di recente, la tecnologia di ausilio ai giudici di gara è entrata anche nel mondo del calcio.

A partire dal 2012 è attiva la "Goal-Line Technology" composta da un circuito elettronico, posizionato all'interno del pallone, e un sistema di induttori applicati sulla porta. La loro interazione grazie al principio dell'induzione magnetica aiuta nel giudizio. Infatti, se la palla supera la linea di porta, parte un impulso verso l'orologio dell'arbitro nel giro di un secondo.

In aggiunta, dalla stagione 2017-2018 è stata introdotta, in via sperimentale, la tecnologia VAR (*Video Assistant Referee*) che consente agli ufficiali di gara di rivedere, tramite l'ausilio di filmati, determinate

azioni e, di conseguenza, prendere una decisione e di assumere il provvedimento corretto.

LA PROSPETTIVA TECNOLOGICA APPLICATA ALLA MARCIA

In questo scenario, un contesto sportivo che potrebbe essere coinvolto è quello della marcia. Il "tacco-punta", storica disciplina del programma olimpico dell'atletica leggera, si differenzia dalle altre specialità per la necessità di un giudizio costante sull'esecuzione regolamentare del gesto. L'atleta deve eseguire una successione di passi tale da assicurare un contatto continuo con il terreno visibile ad occhio umano e l'estensione del ginocchio dall'istante di primo contatto con il terreno fino al superamento della verticale (IAAF 2016). Il controllo del mancato rispetto di tali prescrizioni è affidato ai giudici tramite la loro vista. Il regolamento permette ai giudici di mostrare all'atleta una paletta gialla (di avvertimento) oppure comunicare una proposta di squalifica. Qualora quest'ultima sia decretata da tre differenti giudici, si arriva alla squalifica dell'atleta dalla competizione. I limiti fisiologici della vista

umana (Loschky L. C. et al. 2005) connessi con le durate molto brevi dei tempi di volo (TV), nell'ordine di pochi centesimi di secondo (Hanley 2013), rendono l'attività di giudizio molto complessa.

Ulteriori difficoltà pratiche connesse al giudizio durante la competizione sono:

- il ristretto campo visivo offerto al giudice per la valutazione;
- situazioni in cui gli atleti marciano in gruppo (evento ricorrente soprattutto nelle fasi iniziali della 20 km);
- il netto miglioramento dei tempi di percorrenza, frutto delle migliorate tecniche biomeccaniche (Cavagna 1977, Pavei et al. 2014).

Pertanto, precursori biomeccanici "spia" dell'infrazione (es. proiezione verticale del ginocchio nella gamba oscillante), ossia quelle caratteristiche del gesto che porterebbero l'atleta a violare quasi certamente la regola, sono l'unico attuale strumento in aiuto dei giudici e del tecnico per la valutazione del gesto (Di Gironimo et al. 2016a). L'analisi dei dati relativi alle proposte di squalifica delle ultime principali competizioni internazionali (figura 1) evidenzia

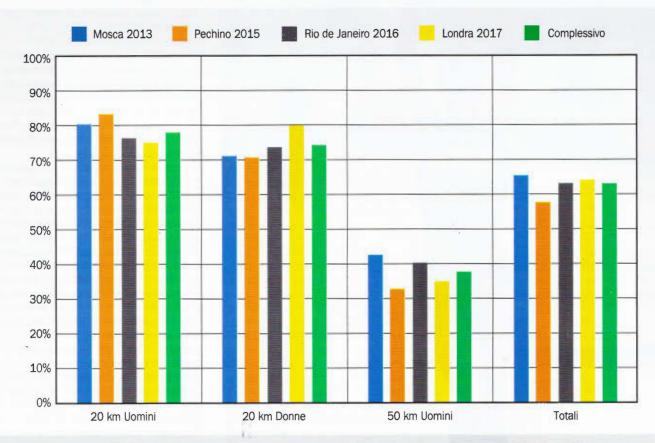


FIGURA 1 Percentuale delle proposte di squalifica per perdita di contatto con il terreno comminate nelle gare di 20 km Uomini, 20 km Donne, 50 km Uomini e Totali durante le ultime tre edizioni dei campionati del mondo (Mosca 2013, Pechino 2015 e Londra 2017), l'ultima edizione dei Giochi Olimpici (Rio de Janeiro 2016) e un complessivo delle quattro competizioni (Complessivo).

SDS-SCUOLA DELLO SPORT / XXXVII / 117

come circa il 60% delle proposte di squalifica sono dovute alla perdita di contatto con il terreno, con punte di oltre l'80% nella 20 km maschile.

Vista l'attualità del problema, per facilitare il giudizio e ridurre le relative controversie connesse, la IAAF è alla ricerca di un dispositivo elettronico che possa essere di aiuto per giudici e tecnici alla valutazione del TV. A tale proposito i ricercatori stanno valutando l'efficacia di due tipologie di dispositivi: sensori inerziali indossabili (SII) (Lee et al. 2013) e solette di pressione (Santoso, Setyanto 2013). Tra le due tecnologie la prima risulta già integrata nella quotidianità dell'allenamento dell'atleta d'élite e non solo. Infatti, le innovazioni che sfruttano la tecnologia indossabile con interfaccia a smartphone, smartwatch o tablet sono quelle di maggiore interesse e più ampia diffusione commerciale. Tali tecnologie spesso presentano al loro interno

accelerometri che permettono di offrire ulteriori informazioni circa parametri cinematici dell'allenamento (come frequenze di passo, tempi di contatto, di volo, ecc.). Il loro campo di applicazione è però pensato per l'utilizzo nella corsa oppure nella deambulazione, e ciò comporta la scarsa affidabilità dei loro dati nella marcia, dove inoltre la precisione di misura richiesta (come detto, nell'ordine del centesimo di secondo) è molto alta.

In questo contesto, l'obiettivo del presente studio è offrire uno strumento (basato sulla tecnologia SII) pratico, efficace ed economico che sia un ausilio oggettivo per la valutazione delle sequenze di passo scorrette nella marcia, utile sia in fase di allenamento che di gara.

Elementi più obiettivi per l'analisi tecnica in gara, inoltre, garantirebbero una maggiore credibilità nei confronti della disciplina.

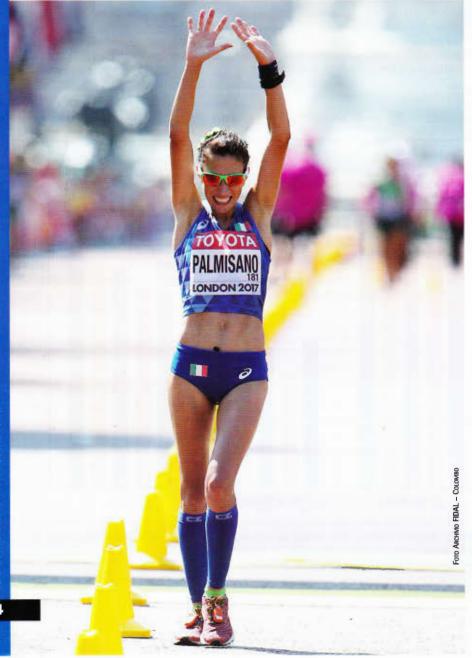
A tale scopo, in sintesi è presentato:

- lo studio e il disegno di un approccio innovativo basato su SII progettato in relazione alle esigenze degli utenti del mondo della marcia (atleti, tecnici e giudici);
- la stima del TV basata su parametri cinematici "individualizzati" al caso studio della marcia, al fine di offrire un'elevata precisione nella sua valutazione;
- la formulazione di un metodo di classificazione dei passi connesso alle specifiche regolamentari;
- la verifica sperimentale del sistema tecnologico con la metodologia proposta in condizioni di laboratorio e su strada;
- la stima del campo visivo di giudizio ottimale per la divisione e la valutazione del gesto in sequenze di passo, al fine di ottimizzare la metodologia proposta nella pratica.

METODI

Poiché il dispositivo da utilizzare deve riscuotere il gradimento di chi se ne serve, il primo step metodologico interessa l'analisi delle esigenze esplicite e latenti degli utenti del mondo della marcia tramite la metodologia del Kansei Engineering (Lanzotti, Tarantino 2008). Partendo dalla tecnologia SII, lo scopo di questa fase è individuare il progetto dello strumento ottimale richiesto dagli addetti ai lavori. Lo studio condotto ha interessato 50 utenti: 25 atleti, 15 allenatori e 10 giudici che operano prevalentemente in ambito internazionale (oltre l'80%). Nello specifico, i dati sono stati raccolti tra gli addetti ai lavori della Coppa del mondo di marcia (2014) e della finale nazionale "A oro" dei Campionati di Società Assoluti (2014).

Tramite la somministrazione di opportuni questionari, è stata richiesta la valutazione di 10 caratteristiche pre-selezionate (spazio delle caratteristiche) e le cinque parole che istintivamente vengono associate al dispositivo (spazio semantico). La sintesi dell'esplorazione dei due spazi porta alla progettazione ottimale dello strumento. Il secondo e il terzo step metodologico presentano la stima del TV e la classificazione del passo. L'obiettivo è presentare le metodologie che permettono l'utilizzo della tecnologia SII nello scenario della marcia. Per ottenere la stima del TV, il segnale del SII codificato e processato su un dispositivo esterno, viene ottimizzato con un opportuno protocollo che permette di individuare gli eventi "heel strike" (primo contatto del piede con il terreno) e "toe off" (ultimo contatto delle dita del piede con il terreno) caratteristici di ogni singolo passo (Lee et al. 2013). Da questi, considerando l'intervallo di tempo tra il toe off e il successivo heel strike, è poi valutato il TV.



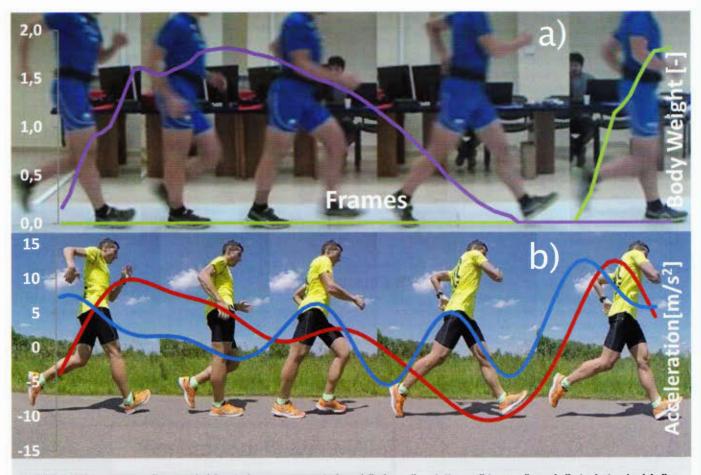


FIGURA 2 a) Foto-sequenza di un test in laboratorio con rappresentazione delle forze di contatto con il terreno (in verde l'arto destro, in viola l'arto sinistro); b) foto-sequenza di un test su strada con rappresentazione delle accelerazioni (in rosso la componente verticale in blu la componente antero-posteriore).

Si è poi passati alla valutazione del passo attraverso una opportuna proposta di classificazione. In accordo con la regola 230 del manuale delle competizioni della IAAF, il passo è definito come "legale" se il TV è minore o uguale alla soglia della vista umana, viceversa "illegale" se il TV è maggiore alla soglia della vista umana. Quest'ultima è fissata pari a 40 ms (Knicker, Loch 1990). Nella quarta fase metodologica è affrontata la verifica sperimentale del sistema. Il SII è quindi valutato in condizioni di laboratorio e in prove su strada. Le prove di laboratorio sono state svolte nell'ErgoS-IDEAS Lab del Dipartimento di Ingegneria Industriale presso il centro CESMA dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Il laboratorio è dotato di un SII (G-Sensor2, BTS, 200 Hz) e di un sistema integrato per l'analisi cinematica (10 telecamere a raggi infrarossi BTS DX 6000, 340 Hz) e dinamica (8 piattaforme di forza, BTS P600, 680Hz). Le prove di laboratorio hanno coinvolto quattro marciatori italiani di livello nazionale e internazionale (età 22±5anni, statura 173±7cm, peso 62±8kg)

che hanno effettuato 15 sequenze di passi effettuando 1 o 2 passi sulle piattaforme (figura 2a).

La validazione è stata effettuata confrontando i valori del TV valutati tramite le piattaforme di forza stimati in relazione all'ultimo istante con un valore di forza diverso da zero per il toe off (sulla curva viola, figura 2a), e il successivo primo istante con un valore diverso da zero per l'heel strike (sulla curva verde, figura 2a). In questa maniera è stata operata una validazione tramite misura diretta, sicura e precisa degli eventi caratteristici del passo. Questa fase sperimentale ha permesso di valutare il sistema in comparazione con la migliore tecnologia disponibile per la valutazione del TV. Al tempo stesso le condizioni di laboratorio, caratterizzate da un ambiente ristretto, non hanno permesso all'atleta di effettuare il suo gesto tipico. Questo limite valutativo è superato con una seconda validazione sperimentale effettuata tramite test outdoor. L'obiettivo è valutare il sistema su lunghe sequenze di passo e con differenti velocità attorno al ritmo gara (RG) dell'atleta (tipiche condizioni di allenamento o gara). Un atleta membro della nazionale italiana ha effettuato quattro prove di 300 metri su percorso asfaltato e piatto ad una velocità compresa tra il 93% e il 113% del suo RG (Di Gironimo et al. 2016b).

Le prove sono state effettuate presso il Dipartimento di "Sport Equipment and Technology" della *Technische Universität Chemnitz* (Germania).

In questo scenario, come sistema validante si è utilizzata una telecamera ad alta frequenza di acquisizione (GoPro Hero 4, 240Hz) posizionata su (opportuna) bicicletta elettrica che segue l'atleta durante la prova. Tale strumentazione, pur offrendo una precisione meno elevata rispetto alle piattaforme di forza, risulta essere in letteratura di ampio utilizzo per l'analisi del gesto sia in allenamento che in gara (Hanley 2013; De Angelis, Menchinelli 1992). Tramite analisi video si sono quindi individuati gli eventi di primo e ultimo contatto del piede con il terreno e quindi determinato il TV (quarta e quinta immagine in figura 2b).

Infine, nell'ultimo step metodologico, in sintonia con le tipiche caratteristiche del giudizio, che deve tenere in considerazione non il singolo ma l'intera sequenza di passi, è valutata l'ampiezza del corretto campo visivo di giudizio. In accordo con le raccomandazioni IAAF (IAAF 2016) per stima del campo visivo di giudizio si è tenuto in considerazione:

- la posizione del giudice, ossia la distanza ottimale a cui deve porsi il giudice in gare su strada rispetto alla linea di avanzamento dell'atleta;
- l'angolo di osservazione ottimale;
- l'angolo di rotazione dell'occhio ammissibile dell'occhio umano.

Partendo dalla stima del campo visivo, sono stati valutati il numero di passi utili al giudice per la formulazione del giudizio utilizzando l'ampiezza del passo dell'atleta. Infine, tenendo conto del valore medio del TV per ogni sequenza di passi, si è proceduto ad effettuare la classificazione su due livelli del passo (legale o illegale) con il criterio di discriminazione precedentemente esposto.

SPAZIO SEMANTICO		SPAZIO CARATTERISTICHE		
	Semplice		Affidabilità della misura	9.3
Parole	Solido	Proprietà	Facilità nell'interpretazione della misura	9.1
	Confortevole		Ingombro	8.7

TABELLA 1 Principali parole associate al prodotto dagli addetti ai lavori e tre proprietà (con i rispettivi punteggi su una scala da 1 a 10) che hanno ottenuto le valutazioni migliori.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Le informazioni raccolte durante il primo step metodologico con l'esplorazione dello spazio semantico e delle caratteristiche hanno portato all'individuazione di tre parole e tre caratteristiche chiave (tabella 1) La loro sintesi permette la progettazione ottimale del sistema. La figura 3 mostra la sua configurazione ottenuta con il posizionamento del SII al termine della colonna vertebrale ed il feedback tramite un'unità di controllo esterna (affidata al tecnico od al giudice) che visualizza il valore del TV e un colore associato alla classificazione

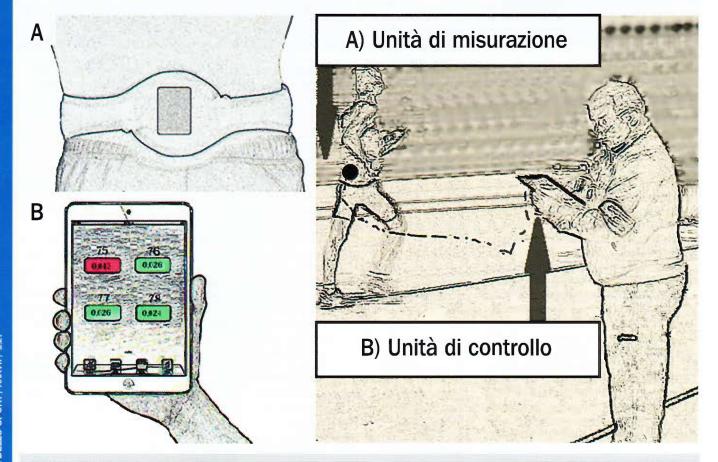


FIGURA 3 Sulla destra l'immagine del design ottimale dell'architettura di sistema. Sulla sinistra in alto uno zoom dell'unità di misurazione (A) posta al termine della colonna vertebrale; in basso (B) l'unità di controllo esterna affidata al gludice con un feedback multicolore associato alla valutazione del passo (ad esempio verde passo "flegale", rosso passo "illegale").

SISTEMA VALUTATO

LABORATORIO	LEGALE SII	ILLEGALE SII	SOMMA
Legale Piat. Forza	27	6	33
Illegale Piat. Forza	18	14	32
Somma	45	25	65
RG=93%	LEGALE SII	ILLEGALE SII	SOMMA
Legale Camera	155	25	180
Illegale Camera	0	0	0
Somma	155	25	180
RG=100%	LEGALE SII	ILLEGALE SII	SOMMA
Legale Camera	131	43	174
Illegale Camera	2	4	6
Somma	133	47	180
RG=106%	LEGALE SII	ILLEGALE SII	SOMMA
Legale Camera	78	69	147
Illegale Camera	13	20	33
Somma	91	89	180
RG=113%	LEGALE SII	ILLEGALE SII	SOMMA
Legale Camera	34	39	73
Illegale Camera	57	50	107
Somma	91	89	180
SEQUENZE	LEGALE SII	ILLEGALE SII	SOMMA
Legale Camera	13	5	18
Illegale Camera	0	6	6
Somma	13	11	24

SISTEMA VALIDANTE

TABELLA 2 Tabelle di contingenza in accordo con la classificazione dei passi proposta per i test di laboratorio (Laboratorio), i test outdoor (ritmo gara=93%, 100%, 106% e 113%) e per le sequenze di passo a questi associate (Sequenze).

	ACCURATEZZA (%)	MANCATI ALLARMI (%)	FALSI ALLARMI (%)
Laboratorio	63	56	14
RG=93%	86	0	14
RG=100%	75	33	25
RG=106%	55	39	47
RG=113%	47	53	53
Sequenze	79	0	28

TABELLA 3 Indici statistici (accuratezza, mancato allarme, falso allarme) associati alle tabelle di contingenza dei test di laboratorio (Laboratorio), i test outdoor (ritmo gara=93%, 100%, 106% e 113%) e per le sequenze di passo a questi associate (Sequenze).

(figura 3) (Di Gironimo et al. 2017). Le metodologie proposte nel secondo e terzo step hanno permesso la stima del TV e la classificazione dei passi sia nelle prove di laboratorio che nelle prove outdoor (tabella 2).

Tutti i passi analizzati hanno presentato una fase di volo (con TV compreso tra 10 ms e 78 ms). Il SII, validato con il sistema di piattaforme di forza, ha identificato il 100% delle fasi di volo. Nella classificazione dei passi, partendo dai dati in tabella 2, sono stati valutati i seguenti indici statistici:

- l'accuratezza (ACC), ossia il numero di casi in cui la classificazione del SII coincideva con quella ottenuta tramite le piattaforme di forza;
- i falsi allarmi (FA), ossia quei casi in cui il SII ha classificato il passo come "illegale" mentre il sistema dinamico lo vedeva come "legale";
- i mancati allarmi (MA), ossia i casi in cui il SII ha classificato il passo come "legale" mentre il sistema dinamico lo vedeva come "illegale".

La tabella 3 mostra i precedenti parametri valutati nelle diverse prove sperimentali, in particolare nelle prove in laboratorio con ACC pari 63%, FA pari al 14% e MA pari al 56%. I test outdoor hanno confermato i risultati preliminari ottenuti in laboratorio. Infatti, per ogni prova su strada, escludendo la fase di accelerazione iniziale dell'atleta, sono stati valutati 180 passi (per un totale di 720 passi, Di questi in 719 si è verificata una fase di volo (con TV compreso tra i 4 ms e i 50 ms). Il SII ha identificato oltre il 99% delle fasi di volo individuate tramite la telecamera, prestazione in linea anche con quella ottenuta da Lee et al. (91%) con tecnologia similare SII sempre in prove outdoor. Dagli indici statistici relativi alle tabelle di contingenza associata per ogni RG (tabella 2 e tabella 3) i valori di ACC ottenuti vanno dall'83% (RG=93%) al 47% (RG=113%). Questo trend è confermato dall'andamento crescente sia di FA (da 14% al 53%) che di MA (dal 0% al 53%).

Tale risultato evidenzia come la performance del sistema sia più critica quando i TV sono prossimi al limite della vista umana (RG più elevati, numero di passi illegali maggiori). Infine, la metodologia espressa per la stima del campo visivo di giudizio ottimale ha considerato, come distanza ottimale a cui deve porsi il giudice in gare su strada (rispetto alla linea di avanzamento dell'atleta), l'ampiezza di due carreggiate stradali (5,50 m). L'angolo di osservazione ottimale è stato fissato a 45° (IAAF 2016) e l'accettabile rotazione dell'occhio valutata pari a 30° (Shimizu et al. 1994). Si è ottenuta l'ampiezza del campo visivo pari a circa 40

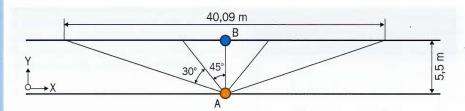


FIGURA 4 Ricostruzione del campo visivo di giudizio ottimale. A) Posizione del giudice; B) posizione dell'atleta. L'asse X rappresenta la direzione di marcia dell'atleta, l'asse Y è ortogonale alla direzione di marcia dell'atleta.

metri (figura 4). Tale valutazione, in relazione alla lunghezza massima del passo riscontrata nelle prove outdoor, pari a 1.27 m, ha permesso di fissare in 30 la quantità di passi appartenenti ad ogni sequenza. Sono state così identificate 6 seguenze di passo per ogni test per un totale di 24 sequenze. Dalla tabella di contingenza (tabella 2) associata si sono valutati gli indici statistici (tabella 3) che mostrano ACC pari al 79% (con FA pari al 28% e MA non presenti). Per comprendere meglio questi risultati è opportuno sottolineare come la metodologia di classificazione del passo per la stima dell'accuratezza del giudizio nelle sequenze risulta essere una novità nella letteratura di settore. Knicker e Loch (1990), hanno studiato i giudici in condizioni sperimentali similari (comparando il loro giudizio con la stima del TV tramite telecamera ad alta frequenza di acquisizione). Analizzando i loro risultati con il metodo di classificazione dei passi proposto, gli score di ACC ottenuti dai giudici sono stati pari al 73%, 68% e 54% (valore medio 65%). Il SII sembra quindi garantire i risultati migliori. Non sono invece disponibili dati per applicare la nostra metodologia e quindi stimare l'accuratezza nella classifcazione delle seguenze con il SII (in relazione allo studio di Lee et al. 2013), e con solette inerziali (in relazione allo studio di Santoso e Setyanto 2013).

CONCLUSIONI

L'analisi delle esigenze degli addetti ai lavori del mondo della marcia ha permesso di generare un'architettura di progetto per la classificazione dei passi basata sulla tecnologia dei sensori inerziali indossabili. L'utilizzo di opportune metodologie per la stima del tempo di volo e per la classificazione dei passi (che risulta essere innovativa rispetto ai precedenti approcci alla problematica) ha permesso la validazione sperimentale del sistema. I risultati ottenuti dai test di laboratorio e dai test outdoor, sono coerenti e confermano la possibilità di classificazione dei passi nella marcia tramite l'utilizzo del sistema proposto. Nell'analisi dei risultati nei test outdoor, pur osservando valori di accuratezza minori per tempi di

volo prossimi ai limiti di percezione della vista umana, si evidenzia come il sistema sembra garantire un'interpretazione del gesto migliore di quella del giudizio attuale basato solo sulla vista umana. Infatti, il sistema tecnologico proposto potrebbe aumentare l'accuratezza nell'identificazione dei passi scorretti risultando un valido "occhio" aggiuntivo per aiutare tecnici e giudici in fasi di allenamento e gara. Prossimi step consisteranno nella realizzazione dell'architettura di progetto con un sensore inerziale indossabile ad hoc e un'app utilizzabile su smartphone. Futuri sviluppi metodologici consisteranno nel miglioramento del metodo di classificazione degli eventi di passo che caratterizzano il tempo di volo e in una nuova classificazione dei passi basata su tre livelli per tenere in considerazione, oltre che la sequenza di passo "legale" e "illegale" anche la possibilità di quella "dubbia" (rappresentata dalla paletta gialla di avvertimento nello scenario di competizione). Inoltre, si prevede di effettuare sperimentazioni outdoor più ampie prendendo in considerazione soggetti di sesso diverso e con diverse caratteristiche antropometriche.

Gli Autori:

Caporaso Teodorico, Dottorando presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli ""Federico II", atleta olimpico, campione del mondo di marcia a squadre;

Perez Diego, Docente presso la Scuola Regionale dello Sport, CONI Campania, allenatore specialista di marcia. FIDAL:

Di Gironimo Giuseppe, Professore Associato di Modellazione Geometrica e Prototipazione Virtuale nel Settore Scientifco Disciplinare Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli "Federico II";

Lanzotti Antonio, Professore Ordinario di Progettazione e Sviluppo di Prodotto nel Settore Scientifco Disciplinare Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università degli Studi di Napoli "Federico II".

Indirizzo degli Autori: Piazzale Tecchio, 80, Napoli, 80125, Italia.

E-mail: teodorico.caporaso@unina.it

Bibliografia e sitografia

Cavagna G. A., Kaneko M., Mechanical work and efficiency in level walking and running, Journal of Physiology, 1977, 268, 467-481.

Dalla Vedova D., Gallozzi C., Besi M., Faina M., Nuovi occhi per l'allenatore, SdS-Scuola dello Sport, XXV, 2007, 71, 7-16.

Dal Monte A., Nuovi occhi per l'allenatore", SdS-Scuola dello Sport I, 1982 0, 2-9.

De Angelis M., Menchinelli C., Times of flight, frequency and length of stride in racewalking, Proceedings of the X International Symposium of Biomechanics in Sports, 1992.

Di Gironimo G., Caporaso T., Del Giudice D. M., Tarallo A., Lanzotti A., Development of a new experimental protocol for analysing the Race-walking technique based on kinematic and dynamic parameters, Procedia Engineering, 2016a, 147, 741-746.

Di Gironimo G., Caporaso T., Amodeo G., Lanzotti A., Odenwald S., Del Giudice D. M., Outdoor tests for the validation of an inertial system able to detect illegal steps in race-walking, Procedia Engineering, 2016b, 147, 544-549.

Di Gironimo G., Caporaso T., Del Giudice D. M., Lanzotti A., Towards a New Monitoring System to Detect Illegal Steps in Race-Walking, Int J Interact Des Manuf, 11, 2017, 2, 317-239.

Hanley B., A Biomechanical Analysis of World-Class Senior and Junior Race Walkers, New Studies in Athletics, 28, 2013, 1/2, 75-82.

IAAF, Race Walking A Guide to Judging and Organising, 2016.

Knicker A., Loch M., Race walking technique and judging – The final report of the International Athletic Foundation research project, New Studies in Athletics, 5, 1990, 3, 25-38.

Lanzotti A., Tarantino P., Kansei engineering approach for total quality design and continuous innovation, The TQM Journal, 20, 2008, 4, 324-337.

Lee J. B., Mellifont R. B., Burkett, B. J., James D. A., Detection of illegal race walking: a tool to assist coaching and judging, Sensors, 13, 2013, 12, 16065-16074.

Loschky L. C., McConkie G. W., Yang J., Miller M. E., The limits of visual resolution in natural scene viewing, Visual Cognition, 12, 2005, 6, 1057-1092.

Pavei G., Cazzola D., La Torre A., Minetti A. E., The biomechanics of race walking: Literature overview and new insights. European journal of sport science, 14, 2014, 7, 661-670.

Santoso D. R., Setyanto T. A., Development of Precession Instrumentation System for Differentiate Walking from Running in Race Walking by Using Piezoelectric Sensor, Sensors & Transducers, 155, 2013, 8, 120-127.

Shimizu K., Misawa A., Suzuki Y., Toric intraocular lenses: Correcting astigmatism while controlling axis shift, Journal of Cataract & Refractive Surger, 20, 1994, 5, 523-526.