

Swing a ripetizione

Chiarella Sforza Nicola Lovecchio GianPiero Grassi
Giorgio M. Calori Virgilio F. Ferrario

Analisi morfologica tridimensionale dei movimenti del corpo durante l'esecuzione di uno swing nel golf: definizione di un protocollo e dati preliminari

Lo studio dei gesti tecnici delle discipline sportive può essere effettuato con diverse attrezzature di variabile complessità, dalle più semplici telecamere, in grado di registrare la progressione del movimento lungo un piano dello spazio, ai più complessi sistemi di analisi del movimento, in grado di effettuare una ricostruzione tridimensionale quantitativa del movimento stesso^{1-2,6-11,13-15,17}. Questi ultimi offrono agli atleti, agli allenatori, nonché ai ricercatori, la possibilità di indagare quantitativamente il gesto, scomponendolo nelle sue fasi e valutando l'arrangiamento reciproco delle diverse parti del corpo. Questo tipo di indagini appare di rilievo specie per quelle discipline che prevedono gesti tecnici altamente standardizzati, che devono essere eseguiti, a parità di condizioni esterne, con le medesime modalità, per esempio la ginnastica artistica⁹⁻¹¹, alcune arti marziali orientali come il karate^{14-15,17}, i tiri liberi nella pallacanestro⁸, il golf^{6-7,13}.

In particolare, il golf è uno sport che oggi sta acquistando sempre più popolarità anche in Italia e che può essere avvicinato anche da persone non più giovani^{1-3,16}, permettendo a tutti di svolgere attività fisica all'aria aperta.

Lo scopo del gioco del golf è quello di infilare una pallina in una serie di piccoli fori cilindrici praticati nel terreno, secondo una sequenza prestabilita e utilizzando il minor numero di colpi possibile⁵. Per colpire la palla vengono adoperati diversi tipi di bastoni, e diversi tipi di colpi, così da imprimere alla palla la forza adeguata e necessaria per raggiungere la distanza voluta nella giusta direzione^{4,6-7}. Fra i diversi colpi che vengono utilizzati vi è lo *swing* (figura 1). Nello *swing*⁴ il corpo del golfista (e quindi il bastone) effettua quasi un giro completo intorno a sé, con una fase di partenza (*address*), un primo movimento di rotazione indietro verso destra (*take away*), che si allontana dalla palla (*back-swing*), seguito da

un movimento verso la palla (*down-swing*) che viene colpita dal bastone (*impact*). Il movimento di rotazione del corpo continua in direzione del bersaglio nel *follow-through*, terminando idealmente il giro (*finish*).

In letteratura vi sono diversi studi che hanno indagato la posizione dei segmenti corporei del golfista durante l'esecuzione standardizzata dello *swing*^{6-7,13}. Gli studi morfologici sono stati inoltre affiancati da indagini elettromiografiche, così da individuare anche i muscoli responsabili del movimento indagato¹⁻². Queste indagini hanno permesso di quantificare globalmente le caratteristiche del movimento, così da ottimizzare la prestazione e individuare strategie per prevenire eventuali traumi¹⁻³.

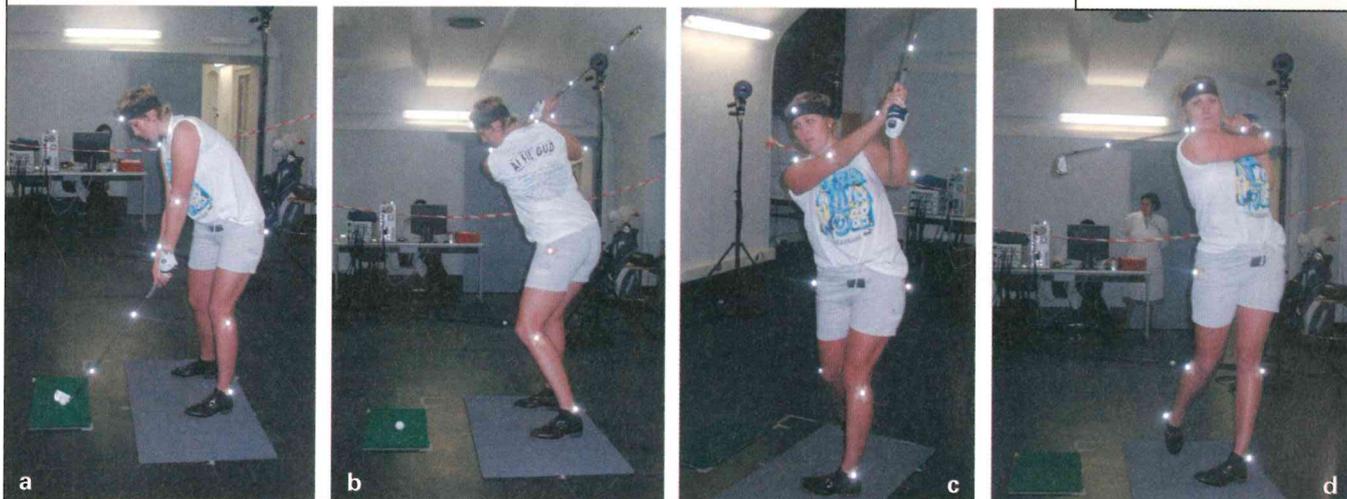
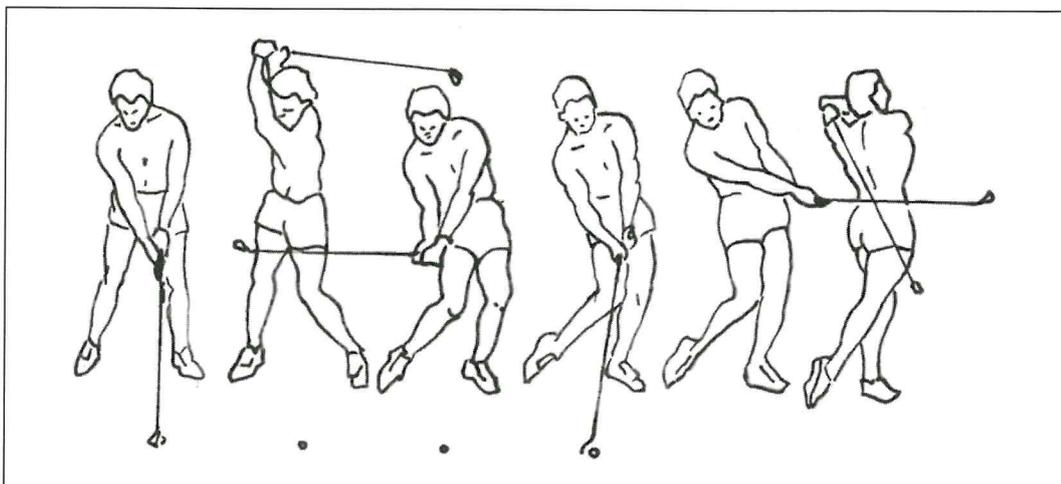
Nel complesso, tutti gli studiosi sono concordi nell'affermare che la variabilità nello *swing* decresce con l'aumentare del livello tecnico del praticante, consentendo di effettuare un colpo il più "automatico" possibile^{2,6,12-13}.

Per quanto riguarda, in particolare, gli studi svolti nelle tre dimensioni dello spazio, Egret et al.⁶ hanno indagato l'effetto di placche occlusali sull'esecuzione dello *swing*: indossando una placca che migliorava e stabilizzava i contatti dentali tra le arcate antagoniste, i golfisti riuscivano a imprimere una velocità più ripetibile alla pallina. Gli stessi studiosi⁷ hanno successivamente studiato le modificazioni indotte nel movimento dall'utilizzo di ferri e legni di tipo diverso, individuando alcune particolarità (angoli tra i segmenti corporei, velocità del bastone) specifiche per ciascun ferro e legno.

È da sottolineare che nei lavori citati⁶⁻⁷ è stata utilizzata una frequenza di campionamento di soli 50 Hz, probabilmente non in grado di rilevare con precisione questo tipo di movimento; inoltre, solo nel secondo studio di Egret et al.⁷ sono state analizzate le caviglie



Figura 1
Sequenza dello swing nel golf. Dall'*address* (a), il golfista compie un primo movimento di rotazione indietro verso destra, *back-swing* (b), seguito da un movimento verso la palla, *down-swing*, che viene colpita dal bastone, *impact*. Il movimento di rotazione del corpo continua in direzione del bersaglio nel *follow-through* (c), terminando idealmente il giro, *finish* (d).



e le ginocchia, mentre né in questo né nello studio precedente dello stesso Autore sono stati studiati i polsi. Le mani e i polsi non solo sono, ovviamente, essenziali nell'esecuzione dello *swing*, ma sono anche uno dei distretti più frequentemente danneggiati durante il gioco del golf³. Appare pertanto necessario definire protocolli sperimentali che siano in grado di indagare tutti i distretti corporei contemporaneamente con le dovute caratteristiche tecniche di ripresa. In questo studio è stato messo a punto un protocollo per l'analisi

quantitativa dello *swing* nel golf. In particolare, si è studiata la ripetibilità dei movimenti corporei effettuati durante l'esecuzione del gesto in condizioni standardizzate.

Materiali e metodi dello studio

Partecipanti allo studio

Hanno partecipato volontariamente allo studio quattro golfisti professionisti (tre uomini e una donna) di livello internazionale (tabella 1).

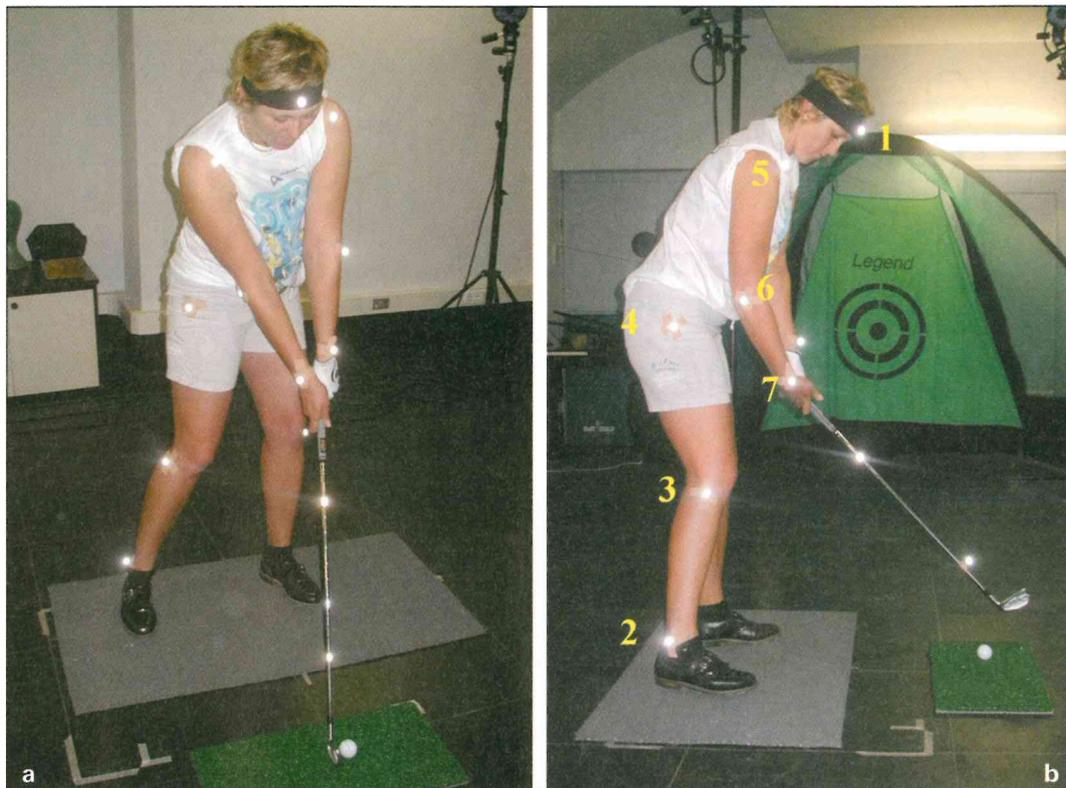
Tabella 1 **Caratteristiche dei golfisti analizzati nello studio**

Soggetti	Età (anni)	Peso (kg)	Altezza (cm)	BMI (kg m ⁻²)	Professionismo (anni)	Ferro (n.)	Inter-trocantere (mm)	Spalla-gomito (mm)	Gomito-polso (mm)
M1	39	71	179	22,16	17	3	375	329	197
M2	51	90	185	26,30	34	6	427	330	225
M3	30	67	176	21,63	9	5	385	315	205
F1	32	80	181	24,51	10	5	428	356	212
media	38	77	180	23,65	17,5		404	333	210
DS	10	10	4	2,16	11,6		28	17	12

BMI (*body mass index*), indice di massa corporea, pari al peso in kg diviso per l'altezza al quadrato in metri; M1, M2, M3, golfisti maschi; F1, golfista femmina; DS, deviazione standard.



Figura 2
Marker posizionati sui partecipanti:
1, nasion (testa);
2, malleolo laterale destro (caviglia);
3, testa del perone destro (ginocchio);
4, grande trocantere destro (anca);
5, acromion destro (spalla); 6, olecrano destro (gomito);
7, apofisi stiloidea radiale destra (polso);
8, malleolo laterale sinistro; 9, testa del perone sinistro;
10, grande trocantere sinistro; 11, acromion sinistro; 12, olecrano sinistro; 13, apofisi stiloidea radiale sinistra. A questi si aggiungono due **marker** posizionati sul ferro: uno prossimale, vicino al polso, a 37,5 cm dal pollice destro, e uno distale, a 38,5 cm dal primo. Nell'immagine b sono evidenziati soltanto i **marker** di destra.



In media, i golfisti analizzati si allenavano circa 28 ore la settimana, suddividendo il carico su cinque o sei giorni. Tutti i partecipanti sono stati informati preventivamente del protocollo di misura e dei possibili rischi. Ciascuno dei golfisti ha utilizzato le proprie palline da campo e un proprio ferro, scelto tra quelli in grado di lanciare la palla a media-lunga distanza. In linea di massima, è stato indicato di utilizzare un ferro n. 5, ma è stata lasciata libertà di scelta.

Acquisizione dei dati

I dati sono stati acquisiti utilizzando un sistema automatico di analisi del movimento attivo nel campo dell'infrarosso (Smart, Emotion, Padova, Italia). Il sistema consente la raccolta delle coordinate tridimensionali di un set di *marker* passivi riflettenti, posizionati su punti di reperi del soggetto, o di oggetti utili all'esecuzione del movimento (figura 2). I *marker* devono sempre trovarsi in un volume di lavoro circondato dalle telecamere e ciascun *marker* deve essere visto in ogni istante di movimento da almeno due telecamere con due angoli di visuale differenti¹⁴.

In particolare sono state utilizzate nove telecamere ad alta risoluzione del tipo ad accoppiamento di carica, sensibili nel campo dell'infrarosso. Ciascuna telecamera era circondata da una corona di LED (*light emitting diode*) coassiali stroboscopici che illuminavano il volume di lavoro con una frequenza di 120 Hz. La

luce riflessa dai *marker* presenti veniva raccolta dalle telecamere, tra loro sincronizzate da appositi sistemi *hardware*, e trasmessa a un computer dotato di un videoprocessore. Grazie al *software* fornito dal produttore, i *marker* venivano riconosciuti e la posizione del loro centro di gravità registrata. Una calibrazione preventiva, effettuata con un sistema di assi cartesiani standard recanti *marker* a distanze note, permetteva di ottenere le coordinate metriche tridimensionali *x*, *y*, *z* dei diversi *marker* nei vari *frames* del movimento a partire dalle coordinate *x*, *y* registrate da ciascuna singola telecamera. Il volume di lavoro utilizzato è stato di 700 (direzione del movimento della palla, destra-sinistra del golfista) × 270 (in senso anteroposteriore) × 260 (altezza) cm.

Il sistema non è invasivo (non utilizza fonti di energia oggi riconosciute come pericolose per l'uomo), la raccolta dei dati non è fastidiosa e viene effettuata direttamente mentre il soggetto esegue il movimento sportivo prescelto senza particolari vincoli.

Per questa particolare indagine, sul corpo di ogni golfista sono stati posizionati tredici *marker* riflettenti del diametro di 2 cm (figura 2), mentre due *marker* piatti sono stati posti sul ferro, uno prossimale, vicino al polso, a 37,5 cm dal pollice destro, e uno distale, a 38,5 cm dal primo.

Tutte le riprese sono state effettuate al coperto, in un laboratorio appositamente attrezzato con una rete di nylon che fungeva da ber-



saglio per i tiri e raccoglieva successivamente le palline (figure 3 e 4). Prima di ciascuna ripresa, ogni golfista ha effettuato un periodo di riscaldamento e di "adattamento" all'ambiente del laboratorio. Nella stessa seduta e per ciascun golfista sono stati acquisiti i primi dieci *swing* considerati corretti dall'esecutore (bersaglio colpito, movimento corporeo valido). In media, ciascun golfista ha "scartato" due colpi (da un massimo di tre a un minimo di uno).

Analisi dei dati

Le coordinate tridimensionali raccolte su ciascun golfista durante l'esecuzione degli *swing* sono state analizzate mediante speciali programmi statistici appositamente predisposti all'interno del laboratorio per lo studio dei movimenti sportivi^{8-10,14,17}. Le tracce dei movimenti effettuati nei dieci *swing* sono state sincronizzate, con la partenza in corrispondenza del *take-away* (inizio del movimento) e l'arrivo in corrispondenza del punto di escursione massima del ferro nella fase di *follow-through* (figura 1). La durata delle tracce degli *swing* è stata quindi resa identica nelle dieci ripetizioni, allungando matematicamente le tracce più corte.

Per ciascun punto di reperi corporeo, è stata calcolata la media tra le tracce del movimento ripetuto e la relativa deviazione standard (unità di misura, cm). Una bassa deviazione standard indica una buona ripetibilità del movimento (le tracce sono tutte vicine tra loro), mentre una deviazione standard elevata indica che le tracce sono diverse nelle varie ripetizioni. Per ciascun golfista si è inoltre cal-

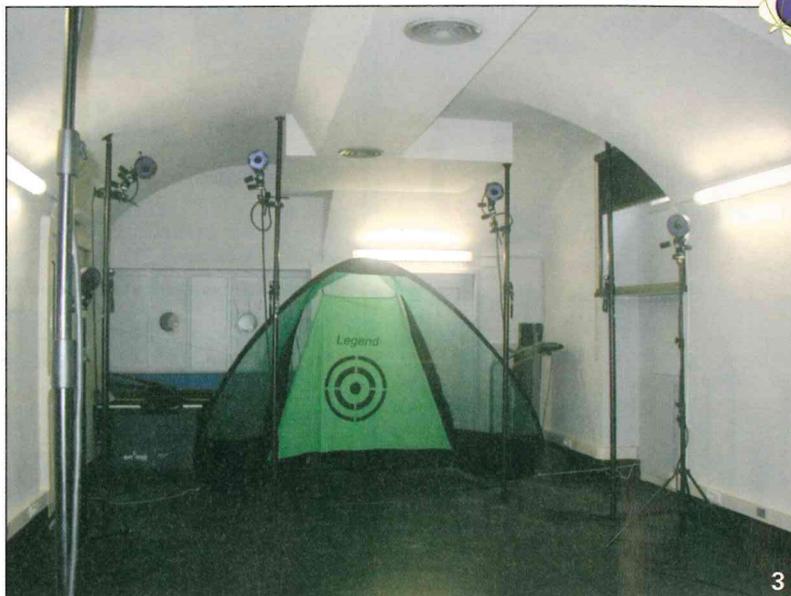


Figura 3
Set sperimentale. Si vedono la rete e alcune delle telecamere utilizzate.

colata una deviazione standard media tra i tredici *marker*, che corrisponde a un indice globale della ripetibilità di questo specifico movimento. Considerando che le ampiezze dei movimenti effettuati dai segmenti corporei dipendono dalle dimensioni del corpo, tutte le misure sono state standardizzate dividendole per l'altezza di ciascun partecipante, ottenendo così valori in cm/cm¹¹.

Sono state inoltre calcolate la velocità del *marker* distale sul ferro al momento dell'impatto sulla palla, nonché alcune misure antropometriche (distanza tra i due grandi trocanteri, *marker* 4 e 10; distanza spalla-gomito, media delle distanze tra i *marker* 5-6 e 11-12; distanza gomito-polso, media delle distanze tra i *marker* 6-7 e 12-13).

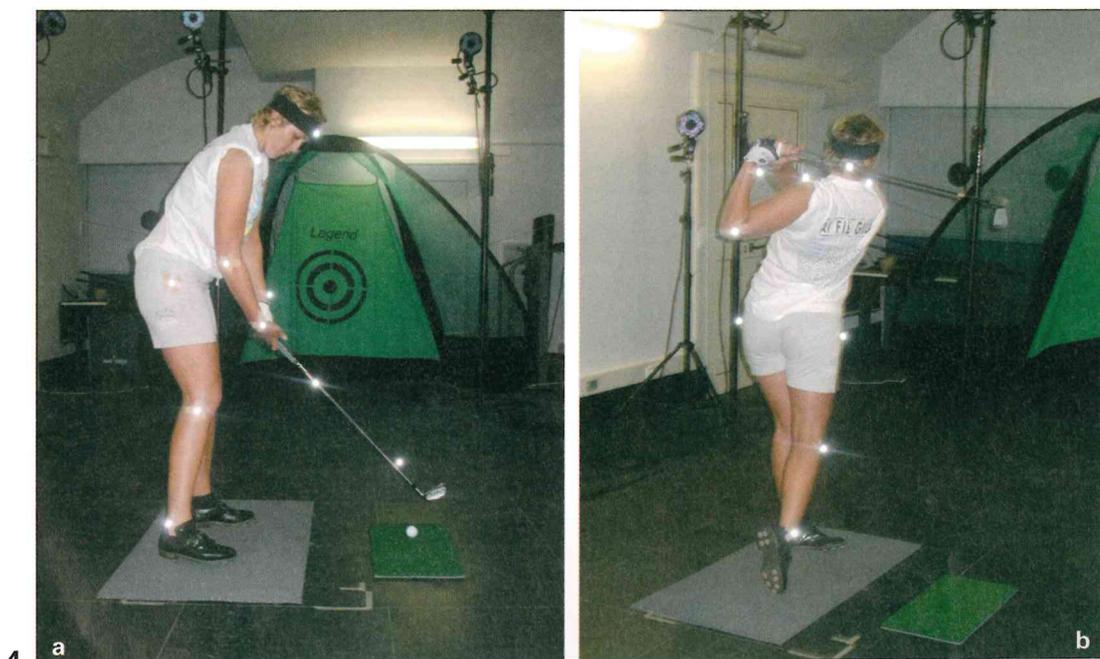


Figura 4
Posizione del golfista nel set sperimentale: a, *take away*; b, *follow-through*.

→ pagina 25

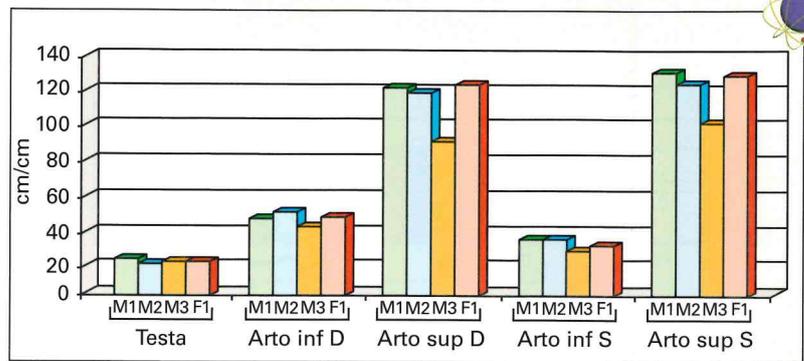
Per ciascun golfista, è stata calcolata la media dei valori ottenuti nei dieci *swing*.

Risultati dello studio e discussione

I quattro golfisti analizzati non sono stati in alcun modo selezionati: come si evince dalla tabella 1, le loro caratteristiche sono molto variabili, con ampi intervalli d'età (circa vent'anni) e di pratica sportiva come professionisti (venticinque anni). Anche le loro dimensioni corporee globali (altezza, peso, indice di massa corporea) e dei distretti indagati (distanza intertrocanterica, lunghezza dei segmenti prossimale e intermedio dell'arto superiore) sono risultate abbastanza variabili, con coefficienti di variazione (rapporto percentuale tra la deviazione standard e la media) compresi tra 2% (altezza) e 13% (peso corporeo). Per questo motivo, è stato necessario standardizzare le deviazioni standard relative alle variabilità tra le tracce ripetute del movimento dividendole per l'altezza di ciascuno.

In tutti i golfisti, il *marker* che ha fatto registrare le minori deviazioni (e quindi il più ripetibile durante l'esecuzione dei dieci *swing*) è stato quello posto sulla caviglia sinistra (tabella 2): in effetti, questa parte del corpo è quella che si muove di meno durante l'esecuzione dello *swing*, fornendo appoggio e sostegno all'intero corpo^{1,4-5}. All'estremo opposto (*marker* con tracce molto distanti tra loro, e perciò maggiori variazioni nell'esecuzione ripetuta del gesto) si collocano i *marker* dei polsi, con valori piuttosto simmetrici (differenze destra-sinistra intraindividuo di 1-2 cm/cm). Il soggetto che ha fatto registrare i valori minori (e quindi il più ripetibile) è stato M3. Questo golfista è il più giovane e con meno esperienza, ma è anche il più piccolo e leggero, con minore indice di massa corporea.

Negli arti inferiori (figura 5), la ripetibilità (consistenza delle tracce di movimento) è risultata maggiore sul lato sinistro (in media,



M1, M2, M3, golfisti maschi; F1 golfista femmina; inf D, inferiore destro; sup D, superiore destro; inf S, inferiore sinistro; sup S, superiore sinistro.

9,6 cm/cm) che sul destro (14,3 cm/cm); negli arti superiori si è trovato l'opposto: il lato destro è risultato in media più ripetibile del sinistro (36,6 cm/cm rispetto a 39 cm/cm). Ancora una volta, il soggetto con minore variazione su tutti e quattro gli arti è stato M3; la differenza rispetto agli altri golfisti è stata particolarmente evidente negli arti superiori. Negli arti inferiori, la variabilità decresce in senso distale (cioè caviglia meno variabile di ginocchio e questo meno variabile di anca), specie sul lato sinistro, compatibilmente con la relativa minore ampiezza di movimento. Negli arti superiori, si è ottenuto l'effetto opposto: i segmenti distali (polso rispetto ai gomiti e questi rispetto alle spalle) si muovono di più⁵ e sono meno ripetibili (maggiore deviazione standard).

Le traiettorie della testa (*marker* posto sul nasion, deviazione standard media 18,6 cm/cm) sono risultate meno ripetibili di quelle rilevate per ciascuno dei *marker* degli arti inferiori, ma nel complesso molto simili (omogenee) tra i quattro atleti. In effetti il movimento della testa è legato alla necessità di seguire con lo sguardo il movimento della pallina (e in parte del ferro) verso un bersaglio ben definito. È già stato riportato che i professionisti tendono a guardare molto di più la pallina e il bersaglio e meno il bastone e il *green* di quanto non facciano i meno esperti^{4,12}, in buon accordo con l'omogeneità dei valori

Figura 5
Ripetibilità nell'esecuzione dello swing nel golf nei diversi distretti corporei. I valori sono le deviazioni standard tra le tracce di dieci *swing* ripetuti, normalizzate per l'altezza del soggetto (unità di misura, cm/cm). I valori relativi agli arti sono la somma dei tre *marker* corrispondenti.

Tabella 2 Ripetibilità nell'esecuzione dello *swing* nel golf.

	Lato destro							Lato sinistro							Totale
	Testa	Caviglia	Ginocchio	Anca	Spalla	Gomito	Polso	Caviglia	Ginocchio	Anca	Spalla	Gomito	Polso		
M1	20	15	13	16	24	36	57	6	11	14	21	47	58	26	
M2	18	14	16	17	21	35	59	4	12	15	22	40	57	25	
M3	19	12	12	15	19	27	42	4	10	11	18	36	44	21	
F1	18	14	14	15	22	38	60	4	10	15	20	43	62	26	

I valori sono le deviazioni standard tra le tracce di dieci *swing* ripetuti, normalizzate per l'altezza del soggetto (unità di misura, cm/cm) M1, M2, M3, golfisti maschi; F1, golfista femmina.



Figura 6
Ricostruzione
computerizzata
dello *swing* nel golf:
vista frontale
del *back-swing*
a, nella golfista F1,
b, nel golfista M2.

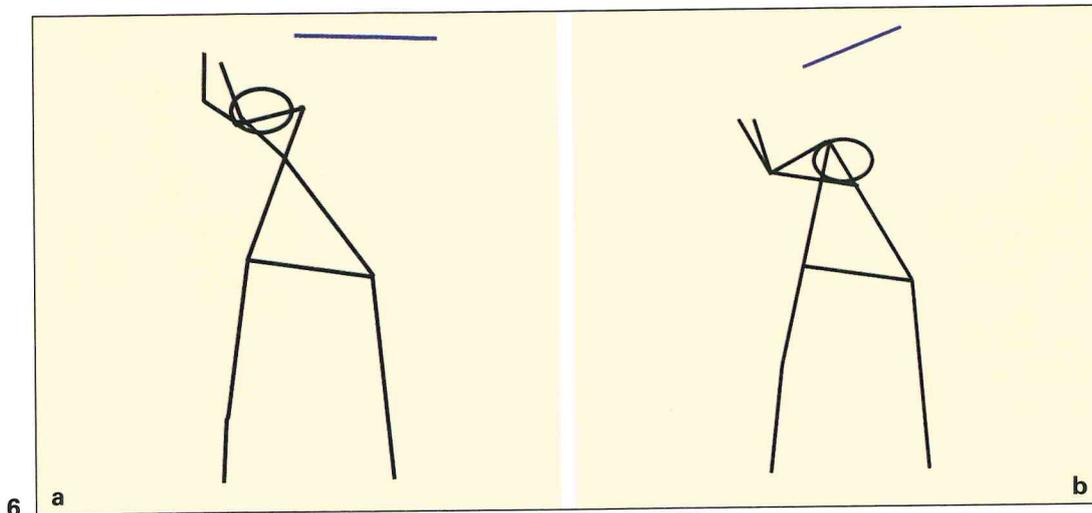
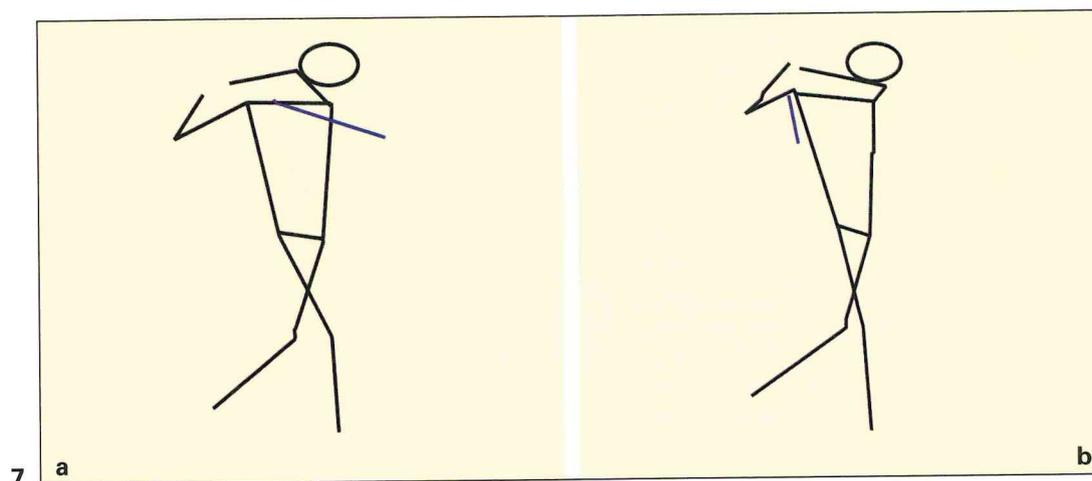


Figura 7
Ricostruzione
computerizzata
dello *swing* nel golf:
vista frontale
del *follow-through*
a, nella golfista F1,
b, nel golfista M2.



delle deviazioni standard della testa tra i quattro soggetti.

In media, la deviazione standard totale standardizzata è stata 24,4 cm/cm, con una limitata variabilità tra i quattro soggetti analizzati (deviazione standard 2,6 cm/cm). Il valore inferiore di deviazione standard totale si è registrato in M3 (tabella 2).

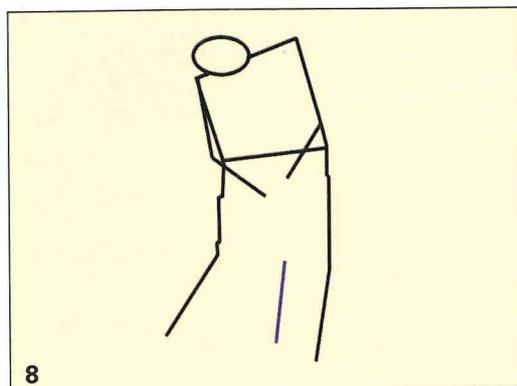
Confrontando alcuni movimenti effettuati dai diversi golfisti, si può osservare come nel *back-swing* la donna F1 compia un movimento di torsione del tronco più ampio di quello effettuato dai tre uomini (figura 6, a e b). Tale

maggiore torsione viene continuata anche nel *follow-through* (figura 7, a e b). Un altro particolare che differenzia i golfisti è la posizione del gomito destro al momento dell'*impact* (figura 8): nel soggetto M2 (il più anziano del gruppo) si è registrata una maggiore flessione che negli altri tre soggetti analizzati.

I risultati ottenuti sono in ottimo accordo con quanto riportato da diversi Autori⁷: ogni golfista tende ad avere uno *swing* "personale" con peculiari elementi distintivi lievemente diversi da quelli degli altri, pur nell'ambito di un gesto che ha caratteristiche tecniche ben codificate e prestabilite.

Al momento dell'impatto del ferro sulla palla, la velocità del *marker* distale sul ferro variava da 27,3 (sesto *swing* della golfista F1) a 34,8 m/s (sesto *swing* del golfista M1). In media, M1 è risultato il golfista in grado di imprimere maggiore velocità al suo ferro n. 3 (34,2 m/s) (figura 9). La golfista F1 è stata quella con la minore velocità media (28,3 m/s), pur utilizzando lo stesso ferro n. 5 di M3 (velocità media 30,7 m/s). È inoltre da sottolineare che F1 è più alta e pesante e ha leve ossee degli arti superiori più lunghe di

Figura 8
Ricostruzione
computerizzata dello
swing nel golf: vista
frontale del momento
d'impatto del bastone
con la palla nel golfista
M2.



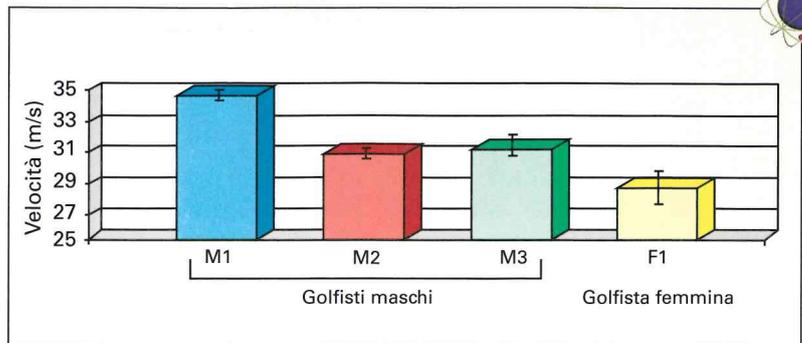
M3. Ovviamente, data la differenza di sesso e quindi di costituzione corporea, i due atleti non sono direttamente confrontabili. Fra i maschi, il golfista M2 (il più anziano del gruppo) è stato il meno veloce (in media 30,4 m/s). Tutti e quattro i golfisti hanno fatto registrare velocità, all'impatto con la palla, molto costanti, particolarmente M1 (coefficiente di variazione pari all'1%). Leggermente più variabili sono risultati M2 (coefficiente di variazione 1,4%) e M3 (2,2%); la minore costanza nella ripetizione della velocità (pur sempre entro un intervallo assai limitato di variazione, con un range di 2,6 m/s nei dieci *swing* analizzati) si è riscontrata in F1 (coefficiente di variazione 3,8%). Nel complesso, la limitata variabilità osservata nella velocità all'impatto è in ottimo accordo con i migliori risultati della letteratura^{6,7}.

In questo studio la velocità del ferro al momento dell'impatto non è stata direttamente misurata con i sistemi comunemente utilizzati sui campi pratica del golf^{2,6,7}, ma è stata derivata dall'indagine cinematica. In ogni caso le velocità ottenute sono risultate ben sovrapponibili a quelle rilevate in studi precedenti^{2,6,7}.

Conclusioni

Molte indagini scientifiche svolte analizzando gesti tecnici sportivi altamente standardizzati, che devono essere eseguiti, a parità di condizioni esterne, nelle medesime modalità, hanno dimostrato che il livello di ripetibilità di tali gesti codificati può essere utilizzato per valutare la prestazione del suo esecutore. In effetti, l'opinione comune che gli atleti d'élite siano in grado di ripetere meglio e più efficacemente di atleti meno esperti gli stessi gesti propri di una disciplina sportiva è oggi supportata anche da analisi quantitative^{6,8-11,13-15,17}.

Nel golf, i giocatori devono raggiungere diverse distanze con la loro palla e possono scegliere bastoni (ferri e legni) differenti secondo il tipo di tiro che ritengono più opportuno per la particolare situazione di gioco. Movimenti corporei più ripetibili e prevedibili dovrebbero ridurre l'incertezza del movimento ed è già stato dimostrato che, a parità di condizioni esterne, i golfisti più esperti sono più ripetibili dei meno esperti¹³. In effetti, in questo studio non si è imposto ai golfisti di utilizzare un ferro specifico e quindi i risultati ottenuti nei quattro atleti non sono direttamente confrontabili. È da ricordare che questo è solo uno studio preliminare, volto alla definizione di un protocollo di lavoro da svolgersi ovviamente su un numero maggiore di golfisti utilizzando lo stesso ferro.



Nel complesso, nei golfisti analizzati in questo studio la ripetibilità del movimento complessivo è risultata simile, anche se ciascuno di loro ha eseguito lo *swing* con alcune peculiarità nei differenti movimenti corporei. Data l'ottima qualificazione dei partecipanti, l'omogeneità nella ripetibilità del movimento non stupisce.

In conclusione, l'indagine eseguita ha permesso di ricostruire nei tre piani dello spazio l'esecuzione dello *swing* nel golf. Il metodo potrebbe essere utilizzato per mettere in evidenza le caratteristiche peculiari di ciascun esecutore, individuando gli eventuali errori commessi nell'esecuzione, i quali possono non solo compromettere la buona riuscita del tiro, ma anche creare alterazioni nell'apparato locomotore, facilitando l'insorgenza di patologie legate allo sport, sia acute sia da sovraccarico¹⁻⁴. Un'ulteriore applicazione potrebbe essere individuata nella valutazione del livello di apprendimento del gesto⁴, nonché nell'individuazione delle determinanti morfologiche dello stato di forma dell'atleta.

Chiarella Sforza

Nicola Lovecchio

GianPiero Grassi

Giorgio M. Calori

Virgilio F. Ferrario

Laboratorio di Anatomia funzionale dell'apparato locomotore (LAFAL)

Functional Anatomy Research Center (FARC)

Dipartimento di Morfologia Umana

Facoltà di Medicina e Chirurgia

e Facoltà di Scienze Motorie

Università degli Studi di Milano

Ringraziamenti

Si ringraziano i golfisti che hanno partecipato allo studio e la Federazione Italiana Golf per il supporto tecnico.

La bibliografia e un ulteriore approfondimento di questo articolo sono disponibili in

www.sportemedicina.it

