

## **ANALISI BIOMECCANICA DELLA PARTENZA DAI BLOCCHI**

**Aurelio Cappozzo, Giuseppe De Vito, Fabio Gazzani\*, Raffaella Massacesi**

*Istituto di Fisiologia Umana, Università degli Studi «La Sapienza» - Roma*

*\* Istituto Superiore di Sanità - Roma*

### **INTRODUZIONE**

La partenza dai blocchi nella corsa veloce è stata oggetto di numerosi studi da parte di fisiologi, biomeccanici e tecnici sportivi che hanno affrontato con differenti metodiche e da diversi punti di vista i vari aspetti di tale prestazione atletica. Tale interesse è giustificato dal fatto che nelle gare di velocità la partenza dai blocchi costituisce un momento fondamentale nell'economia della competizione. Ciò è particolarmente vero nelle gare più brevi quali quelle che si sviluppano sulla distanza dei sessanta metri, dove risulta evidente l'importanza di una partenza ottimale ai fini del risultato cronometrico. In effetti, un velocista che non si trovi in possesso di tempi di reazione e di una accelerazione adeguati rischia di rimanere escluso dall'élite della specialità. Occorre anche sottolineare che la corsa di velocità è una delle discipline sportive più evolute dal punto di vista tecnico tanto che i miglioramenti cronometrici che ci si possono attendere sono di entità mode-

sta. Nella gara dei 100 metri piani, ad esempio, tali miglioramenti sono stati negli ultimi venti anni contenuti entro i quindici centesimi di secondo. In ragione di ciò ed anche grazie alla disponibilità di metodiche strumentali sempre più precise ed affidabili, ci sembra giustificato il tentativo di studiare la partenza dai blocchi con un approccio quantitativo ed il più possibile dettagliato nella speranza di fornire dei risultati che possano avere valore pratico per tutti coloro che si interessano a questa attività.

In particolare, gli obiettivi del presente lavoro sono i seguenti:

A) Illustrare un sistema computerizzato per la misura delle forze di reazione tra piedi e blocchi o terreno.

B) Verificare tramite il confronto con i precedenti studi l'efficacia della nostra metodica.

C) Valutare il possibile impiego sul campo della nostra strumentazione da parte dell'utente (allenatore, medico sportivo, ecc.) e verificare che sia un ausilio

valido e pratico al miglioramento della performance atletica.

Viste le caratteristiche di studio pilota proprie di questo lavoro ci è sembrato opportuno verificare prima di tutto la validità del protocollo sperimentale in laboratorio e su un numero limitato di soggetti focalizzando l'attenzione, più che sul valore assoluto dei dati ottenuti, sulla affidabilità della strumentazione e sulla possibilità di ricreare condizioni sperimentali quanto più possibile simili a quelle reali di una partenza dai blocchi.

### NOTE TECNICHE SULLA PARTENZA DAI BLOCCHI

La partenza dai blocchi (a 4 appoggi) è per regolamento obbligatoria in tutte le gare piane e ad ostacoli fino ai 400 m. Tale obbligo risale ad alcune decine di anni fa. Precedentemente ciascun atleta era libero di scegliere il tipo di partenza da adottare come ben illustrato dalla foto storica (Fig. 1) tratta dalla finale dei 100 m

delle Olimpiadi di Atene nel 1896 in cui si possono osservare le principali tecniche di partenza in uso all'epoca.

Tale gesto ha da allora subito una notevole evoluzione da un punto di vista tecnico anche in conseguenza dei progressivi miglioramenti sia nei materiali utilizzati per la copertura delle piste (dalla terra si è passati ai manti sintetici) sia nella costruzione di più razionali blocchi di partenza non più fissi ma regolabili secondo le esigenze di ciascun atleta.

Lo scopo della partenza in una gara di sprint è quello di «allontanarsi il più velocemente possibile dalla linea di partenza» e questo risulta più facilmente ottenibile se si adotta una partenza a quattro appoggi come appunto avviene utilizzando i blocchi di partenza.

Riteniamo utile, allo scopo di fornire una visione più completa sull'argomento, riportare una descrizione delle principali caratteristiche tecniche della partenza secondo criteri sui quali concordano diversi autori (Atwater 1982, Borzov 1980, Embling 1984, Faithfull 1986, Tellez e Doolittle 1984, Vittori 1981).

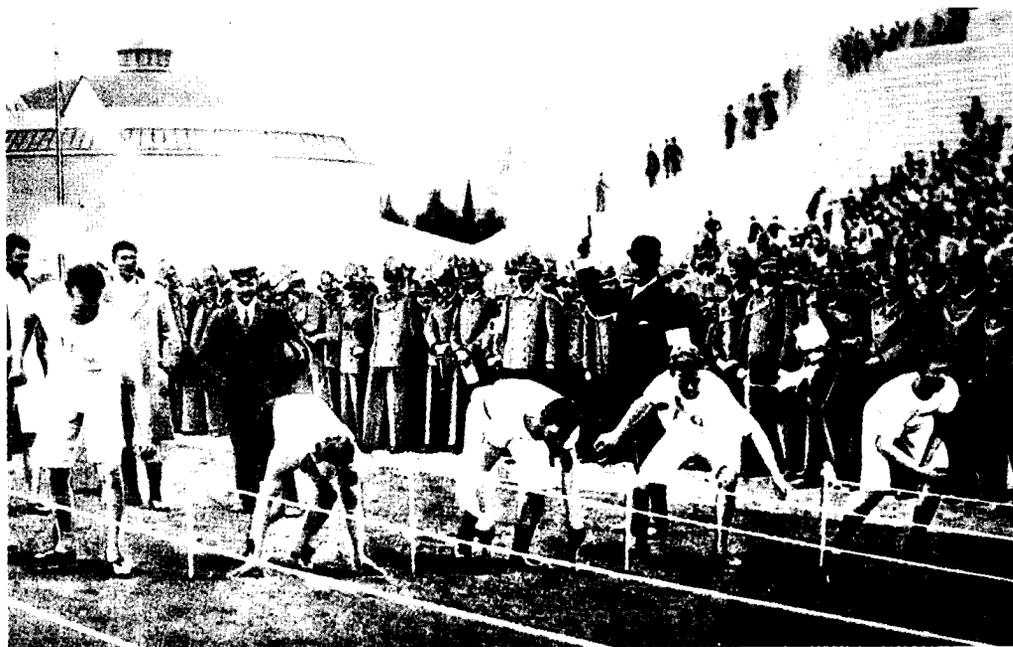


Fig. 1 - Finale dei 100 metri piani alle Olimpiadi di Atene del 1896; vinse la gara lo statunitense Burke (secondo da sn), unico atleta ad adottare una partenza a quattro appoggi

## 1 - Disposizione dei blocchi

La scelta della spaziatura fra i blocchi e della distanza di essi dalla linea di partenza dipende in gran parte dalle caratteristiche antropometriche del soggetto e dalle sue doti di potenza muscolare; ad esempio in genere i soggetti longilinei e con lunghe leve riescono a spingere efficacemente sui blocchi solo se questi sono sufficientemente distanti fra loro e dalla linea di partenza. Il blocco posto anteriormente è quasi sempre quello corrispondente all'arto inferiore più forte, an-

che perché è su di esso che la spinta propulsiva si eserciterà più a lungo e partendo da posizioni meccanicamente più sfavorevoli. In una «partenza media» il blocco anteriore viene posto approssimativamente 40-60 cm dietro la linea di partenza e la distanza fra i due blocchi è di circa 30-40 cm.

## 2 - Disposizione dell'atleta

Al comando «ai vostri posti» l'atleta si dispone nella posizione evidenziata nel-

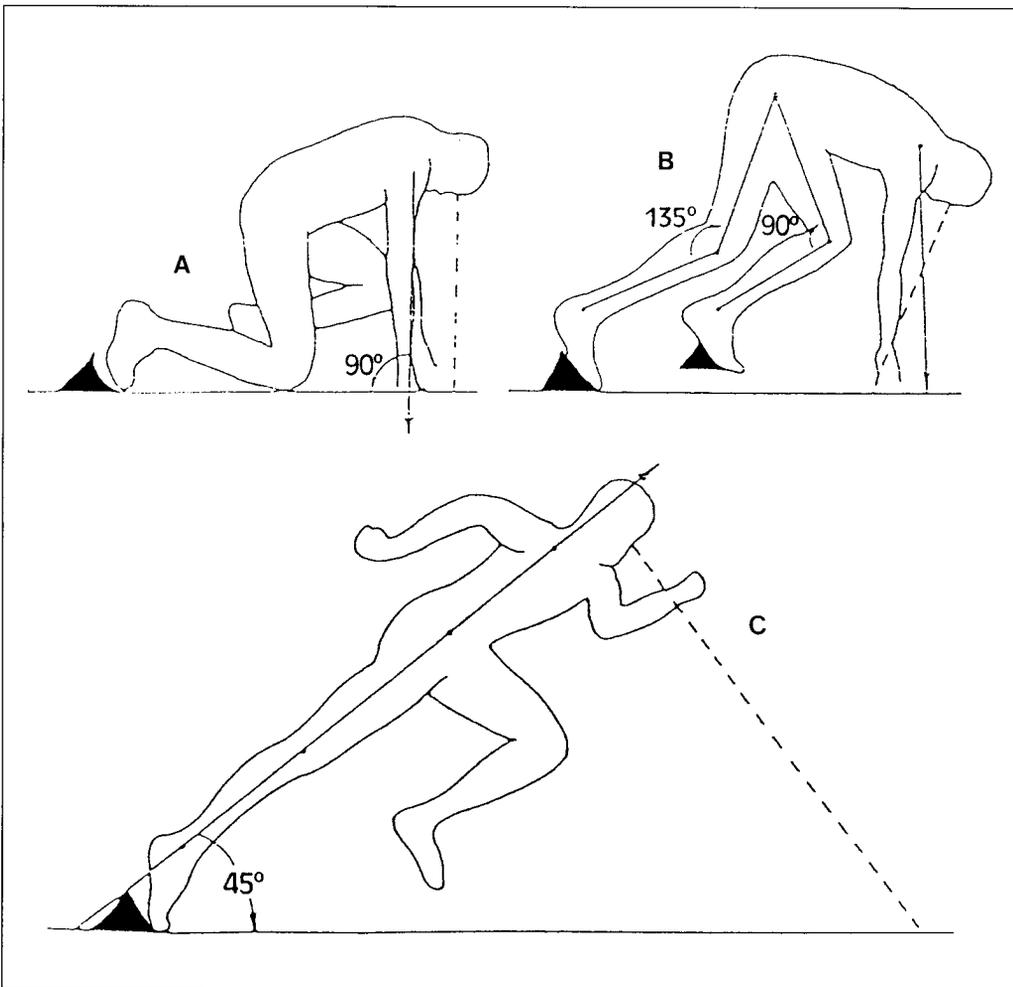


Fig. 2 - Posizioni assunte dall'atleta al comando «Ai vostri posti» (Fig. 2A), «pronti» (Fig. 2B), e nel momento terminale della spinta sul blocco anteriore (Fig. 2C). (Da Tellez e Doolittle, 1984)

la figura 2a, esercitando già sui blocchi una forte pressione. In questo momento il ginocchio della gamba posteriore è appoggiato al suolo, il peso del corpo è egualmente distribuito fra le mani che poggiano a terra (ad una distanza all'incirca pari alla larghezza delle spalle) con pollice ed indice appena dietro alla linea di partenza, le spalle sono sulla perpendicolare al punto di contatto delle mani al suolo e lo sguardo è diretto in basso.

Al «pronti» il baricentro viene spostato più in alto ed in avanti grazie all'azione di parziale estensione degli arti inferiori che porta le anche leggermente più in alto rispetto alle spalle. Queste ultime si spostano leggermente in avanti (Fig. 2b). L'altezza raggiunta dalle anche e lo spostamento in avanti del baricentro sono due fattori critici per l'ottenimento di una elevata velocità iniziale. In uno studio effettuato sui migliori sprinters dell'URSS (Borzov, 1980) vengono indicati come valori ottimali, per gli angoli al ginocchio in tale posizione, da 92 a 105 gradi per l'arto anteriore e da 115 a 138 gradi per quello posteriore. Lo spostamento in avanti del baricentro sarà fondamentale nel condizionare l'entità della componente orizzontale della forza espressa dall'atleta sui blocchi e nei primi contatti al suolo. D'altra parte va ricordato che quando tale spostamento è troppo accentuato pone l'atleta in condizione non vantaggiosa in quanto causa un eccessivo carico sulle mani ed una scarsa pressione sui blocchi e conseguentemente impedisce al soggetto di rialzarsi efficacemente al via.

Alla ricezione del segnale di partenza (colpo di pistola), segue, con il minimo ritardo possibile, la sequenza di azioni con cui inizia la propulsione in avanti. Una rapida risposta allo sparo è fondamentale per una buona partenza: in velocisti di buon livello il tempo di reazione è di circa 0,12-0,18 s. L'azione di spinta esplosiva esercitata su entrambi i blocchi trasmetterà al corpo dell'atleta la più alta velocità possibile. Il piede posteriore viene staccato per primo dal blocco dopo avervi esercitato una notevole pressione, mentre sul blocco ante-

riore la spinta continua fino alla completa estensione dell'arto corrispondente (Fig. 2c).

È molto importante che la risultante delle forze esercitate sul blocco anteriore abbia una corretta direzione rispetto al centro di gravità (CG) dell'atleta. Generalmente si ritiene che in questa fase l'arto esteso ed il tronco debbano trovarsi sulla stessa linea e che «l'angolo di partenza» di un buon velocista sia di 42-45 gradi. Molti autori concordano nel ritenere che angoli superiori a 45 gradi indurrebbero un eccessivo e precoce innalzamento del CG riducendo così la durata della fase di accelerazione, mentre angoli inferiori a 40 gradi creerebbero un effetto di caduta in avanti tale da disturbare l'equilibrato assetto di spinta dei primi passi.

L'azione delle braccia nelle fasi iniziali dello sprint è fondamentale per poter esprimere una buona accelerazione iniziale: esse oscillano in modo contrapposto bilanciando l'azione dell'arto inferiore controlaterale.

Abbandonati i blocchi, il successivo obiettivo del corridore deve essere quello di accelerare per la maggior distanza possibile. Risultano fondamentali allo scopo l'assunzione di una corretta inclinazione in avanti all'uscita dai blocchi, la qualità della spinta nei primi tre passi e la ricerca di un ottimale rapporto tra l'ampiezza e la frequenza del passo.

## Rassegna della letteratura

I primi autori che si sono interessati al presente problema (Kistler, 1934; Dickinson, 1934; Bender, 1934) hanno focalizzato la loro attenzione sul ruolo che la distanza fra i blocchi ha nell'economia della partenza. Le conclusioni cui questi autori sono pervenuti sono nel complesso discordanti, ciò probabilmente a causa di carenze nel tipo di strumentazione utilizzata e nella selezione non adeguata dei soggetti esaminati.

Il primo studio in cui si evidenzia un certo rigore nella metodologia sperimentale adottata è quello di Henry del 1952.

Al fine di pervenire ad un'analisi più approfondita delle precedenti, sul tema della partenza dai blocchi, l'autore ha allestito un sistema di rilevazione delle forze esercitate sui blocchi in direzione antero-posteriore. A questo sistema ne ha associato un secondo che registrava il segnale di partenza ed il passaggio dell'atleta davanti a punti di riferimento posti ad intervalli di 46 metri circa (50 yd) lungo il percorso di gara. Le conclusioni cui è pervenuto questo autore si differenziano da quelle degli studi precedenti. Henry afferma infatti che è impossibile definire in assoluto una distanza ottimale fra i blocchi. La disposizione più adeguata di questi non è altro che il risultato di un compromesso tra i vantaggi di una partenza «molto raccolta» (blocchi molto vicini - possibilità di sviluppare forza in tempi minori) e quelli di una partenza «molto aperta» (blocchi distanti - tempi più lunghi di spinta sui blocchi). Dall'analisi delle curve forza-tempo registrate dai due blocchi, Henry ha rilevato che la forza esercitata dall'arto posteriore è considerevolmente maggiore di quella esercitata dall'arto anteriore, ma quest'ultimo è sicuramente coinvolto nell'azione di spinta sul blocco per un tempo più lungo (Fig. 3). L'autore ha osservato che la lunghezza degli arti inferiori non è

determinante nella scelta della distanza fra i blocchi e che non è correlata con la maggiore o minore velocità dell'atleta.

Uno studio interessante è senz'altro quello svolto da Payne e Blader nel 1971. Gli autori hanno utilizzato dei blocchi di partenza ciascuno fornito di trasduttori di forza del tipo a estensimetri resistivi. I segnali ottenuti sono stati amplificati e inviati ad un registratore a raggi ultravioletti in grado di fornire tracciati su carta. I dati registrati facevano riferimento alla componente di forza agente sul piano di progressione ed al suo punto di applicazione (Fig. 4). Sono state inoltre determinate l'accelerazione e la posizione del centro di gravità dalla partenza sino a circa 15 metri utilizzando riprese filmate (Fig. 5, Tab. 1). I soggetti esaminati sono stati 17. Ogni soggetto ha effettuato almeno 6 partenze in condizioni quanto più possibile simili a quelle di gara. I risultati ottenuti sono stati i seguenti: i due arti cominciano ad esercitare forza nello stesso istante di tempo, l'arto posteriore raggiunge un picco di forza maggiore, ma la spinta esercitata più a lungo dall'arto anteriore fornisce un contributo maggiore alla velocità del corpo. Per quanto concerne i tempi misurati, dobbiamo dire che il tempo di reazione medio riportato da questi autori è più

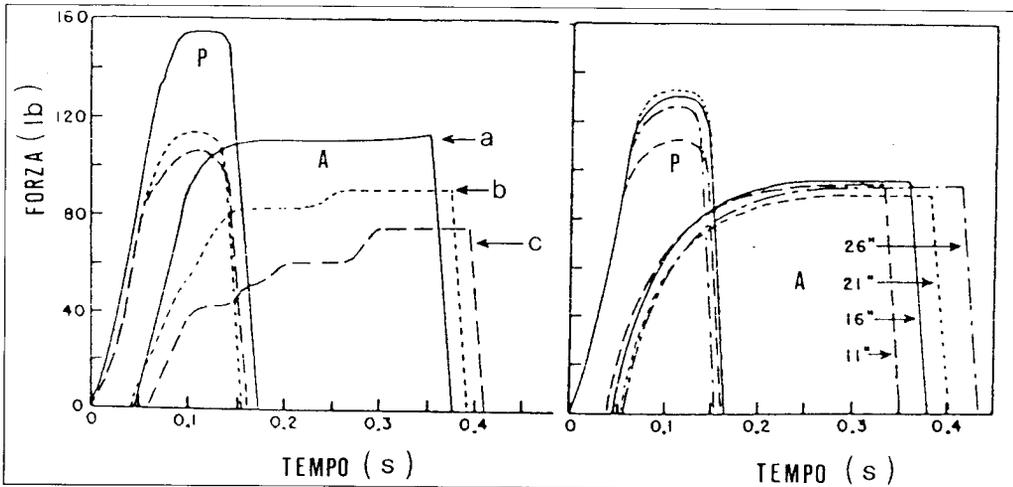
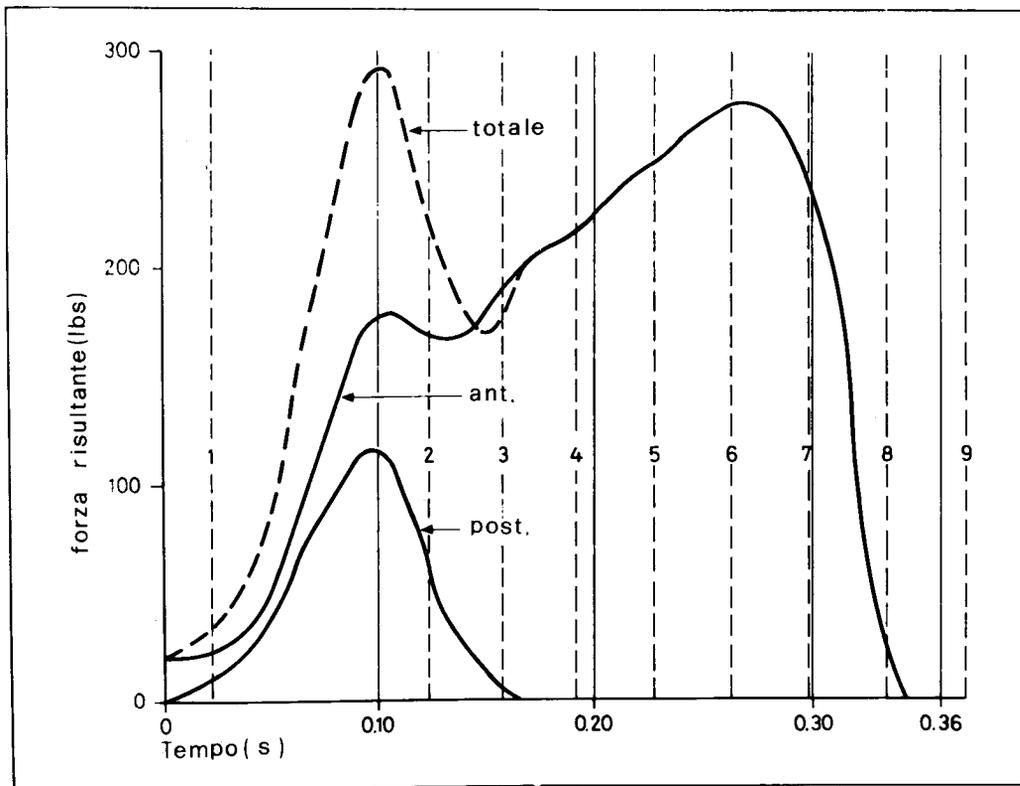


Fig. 3 - Andamento delle curve forza antero-posteriore-tempo relative ai blocchi posteriore (P) e anteriore (A) in atleti di bassa, media ed alta qualificazione (c, b, a, rispettivamente) e influenza della variazione nella distanza tra i blocchi. (Henry, 1952)

basso di quello registrato da altri (0,09 s in media). Occorre osservare a questo proposito che il valore del tempo di reazione dipende dalla metodica usata per misurarlo ed in particolare dalla soglia di forza sui blocchi scelta per definire l'inizio dell'azione. In ultima analisi gli autori giunsero alla conclusione che una partenza efficace fosse da mettere in relazione con l'accelerazione media orizzontale registrata all'uscita dai blocchi. Fu inoltre osservato un diverso comportamento tra i due sessi in quanto le donne, al contrario degli uomini, non erano abili a ridurre sostanzialmente le loro prestazioni cronometriche nonostante l'incremento dell'accelerazione sui blocchi.

Nel 1976 Baumann ha effettuato uno studio allo scopo di quantificare le relazioni esistenti tra caratteristiche della partenza e prestazioni cronometriche in gare di velocità. A tale fine l'autore ha utilizzato dei blocchi di partenza, forniti di dinamometri a tre componenti, e nel contempo ha effettuato una ripresa cinematografica ad alta velocità dalla partenza sino ai primi 6 metri di corsa. È stato così determinato il moto del baricentro sotto forma di velocità ed accelerazione dello stesso tramite l'analisi cinematica dei fotogrammi ottenuti, e l'entità delle forze misurate (Fig. 6, Tab. 2). I risultati ottenuti hanno mostrato che c'è una differenza significativa nei tempi di reazione



352 Fig. 4 - Valori di forza risultante applicata sul blocco anteriore (ant.), posteriore (post.) e su entrambi (totale). (Da Payne e Blader, 1971)

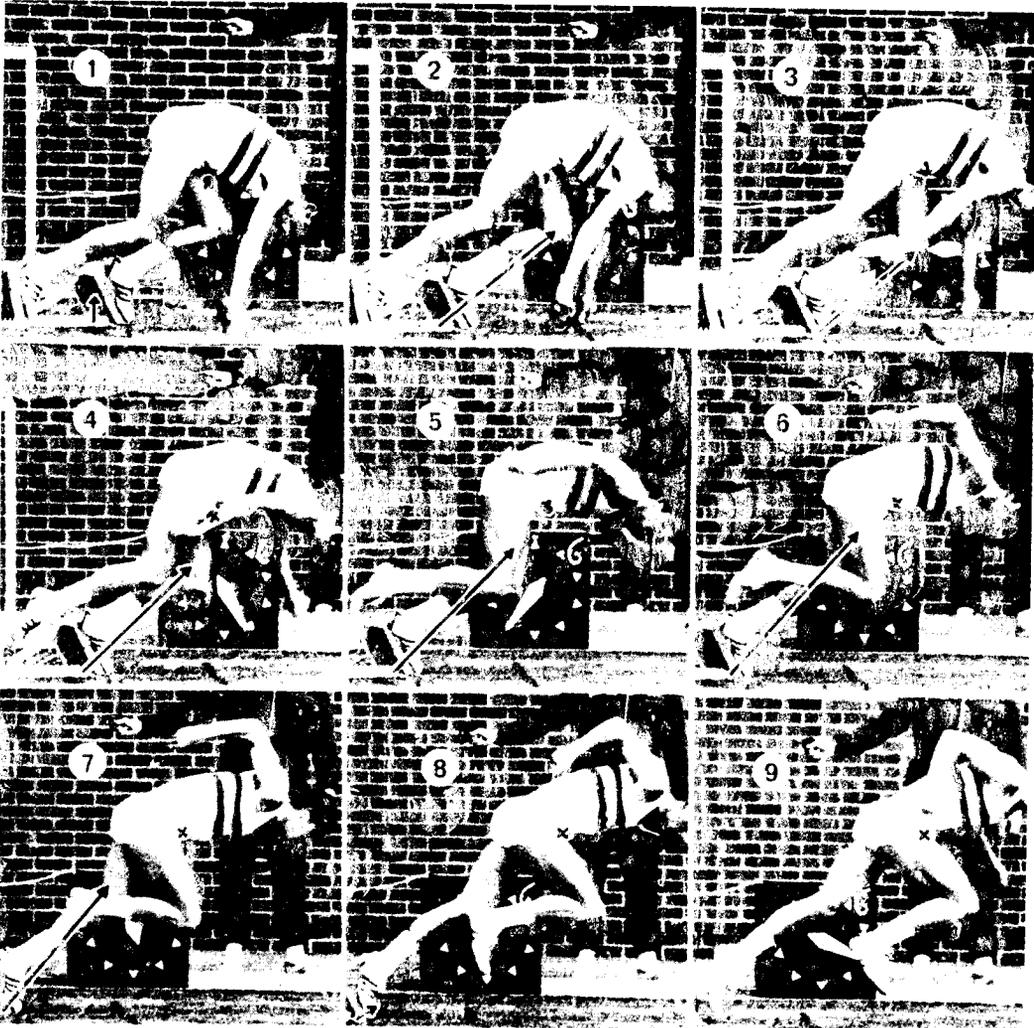


Fig. 5 - Sequenza fotografica che dimostra la relazione esistente fra il vettore risultante (freccia), ed il centro di gravità dell'atleta (x). (Da Payne e Blader, 1971)

	TEMPO (s)	
	maschi	femmine
blocco posteriore	0.123-0.182	0.132-0.225
blocco anteriore	0.327-0.370	0.339-0.430
dai blocchi a sei metri	0.907-1.000	1.041-1.058
sei-nove metri	0.409-0.455	0.451-0.463
dal via sino a nove metri	1.729-1.900	1.934-2.049

Tabella 1 - Durate minime e massime della spinta sui blocchi e tempi di percorrenza sui primi 6 metri, dai 6 ai 9 metri e sui primi 9 metri. (Payne e Blader, 1971)

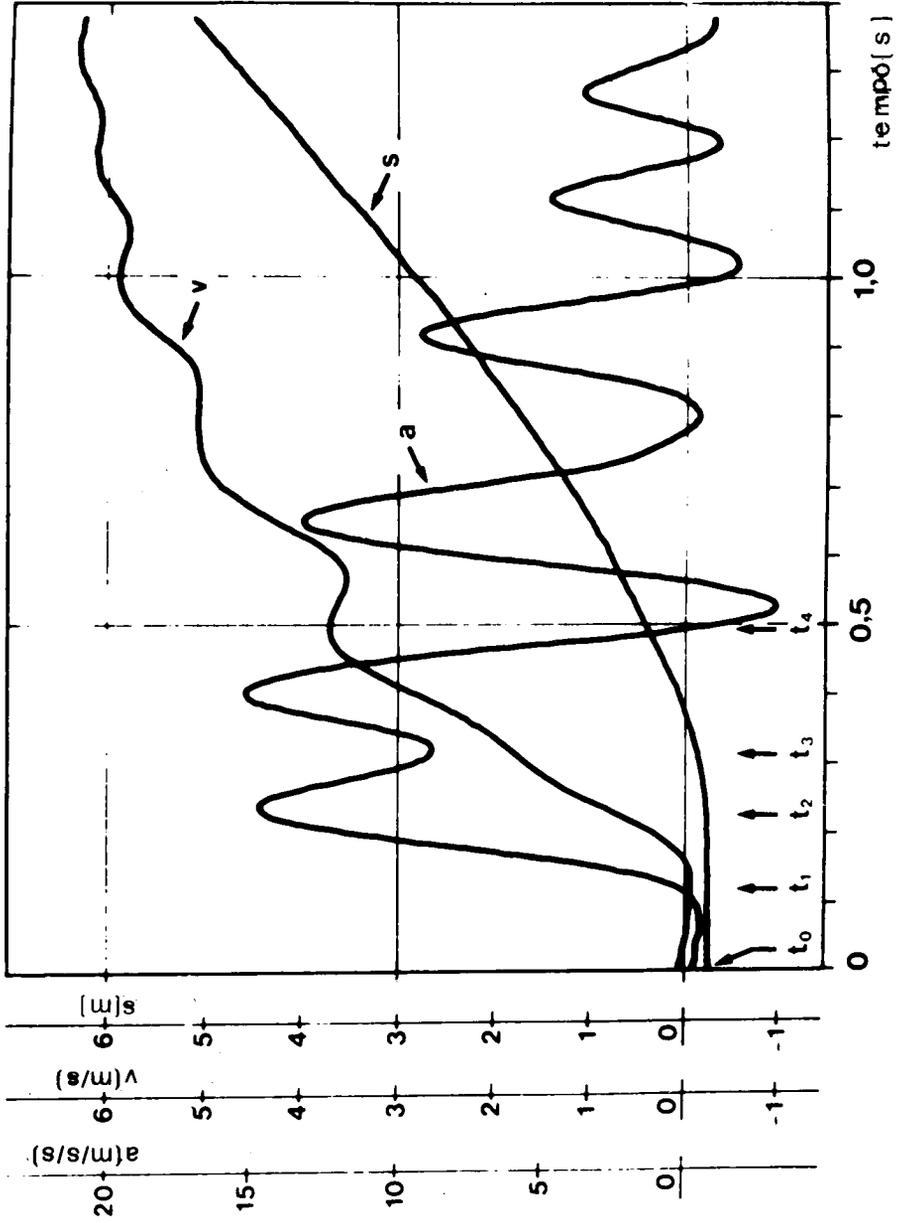


Fig. 6 - Variazioni temporali della traiettoria (s), velocità (v), accelerazione (a) del centro di gravità lungo l'asse antero posteriore.  $t_0$ , segnale di partenza;  $t_1$ , prima reazione;  $t_2$ , distacco del piede posteriore;  $t_3$ , distacco del piede anteriore. (Da Baumann, 1976)

	TEMPI (s)					
	G1 (n=23)		G2(n=8)		G3 (n=10)	
	x	DS	x	DS	x	DS
Reazione gamba post.	0.101	0.018	0.099	0.015	0.113	0.014
Reazione gamba ant.	0.117	0.024	0.118	0.028	0.140	0.029
Distacco mani	0.214	0.040	0.211	0.026	0.211	0.022
Distacco gamba post.	0.302	0.027	0.279	0.046	0.323	0.027
Distacco gamba ant.	0.470	0.036	0.468	0.020	0.504	0.032
A 5 metri	1.334	0.048	1.418	0.088	1.506	0.043
A 20 metri	3.118	0.046	3.210	0.040	3.398	0.074

**Tabella 2 - Medie e deviazioni standard dei tempi in cui si verificano gli eventi indicati**  
**G1 = atleti con record sui 100 m. tra 10.2-10.6 s**  
**G2 = atleti con record sui 100 m. tra 10.9-11.4 s**  
**G3 = atleti con record sui 100 m. tra 11.6-12.4 s.**  
**(Da Baumann, 1976)**

	gruppo A	gruppo B	gruppo C	significatività
Età (anni)	23.9±3.6	22.9±1.9	22.3±2	ns
Massa (kg)	74.7±5.4	77.9±6.3	77.6±8.2	ns
Statura (m)	1.79±0.05	1.83±0.05	1.86±0.07	A/C:p<0.05
L. gamba (m)	0.94±0.03	0.97±0.03	0.98±0.03	A/B, A/C:p<0.05
<b>DISTRIBUZIONE FIBRE MUSCOLARI</b>				
Tipo II (%) **	67.8±10.7	58.8±5.6	51.9±5.1	A/B, B/C:p<0.05,A/C:p<0.01
Tipo IIA (%) ***	36.7±9	39.4±7.6	30.5±3.7	B/C:p<0.05
Tipo IIB (%) ***	31.1±12.6	19.6±10.4	20±7.1	A/C:p<0.05
<b>RAPPORTO AREA DELLE FIBRE</b>				
Tipo II/Tipo I ****	1.41±0.43	1.14±0.31	0.95±0.21	A/C:p<0.05
Record 100m	10.8±0.43	10.8±0.4	11.5±0.3	A/C, B/C:p<0.001
<b>VELOCITÀ DEL CG A 2.5m</b>				
(m/s)	3.27±0.05	3.18±0.02	3.07±0.06	A/B, A/C&B/C:p<0.01
** Nel gruppo B n=6				
*** Nel gruppo A n=6, nel gruppo B n=5, nel gruppo C n=6				
**** Nel gruppo A n=6, nel gruppo B n=6, nel gruppo C n=8.				
<b>Tabella 3 - Caratteristiche fisiche e prestazioni di velocità dei tre gruppi di atleti (media e DS)</b> <b>(Da Mero et al., 1983)</b>				

	gruppo A	gruppo B	gruppo C	significatività
Durata della produzione di forza (s)	0.361 ± 0.027	0.360 ± 0.023	0.368 ± 0.037	ns
<b>PRODUZIONE DI FORZA SUL PIANO ORIZZONTALE</b>				
Forza max (N)	1186 ± 260	1154 ± 170	898 ± 203	A/C:p < 0.05, B/C:p < 0.01
Tempo per il picco max (s)	0.075 ± 0.015	0.081 ± 0.019	0.072 ± 0.023	ns
Forza media (N)	650 ± 53	628 ± 85	531 ± 38	A/C:p < 0.001, B/C:p < 0.01
Impulso di forza (Ns)	234 ± 15	226 ± 31	195 ± 23	A/C:p < 0.01, B/C:p < 0.05
Potenza (W)	949 ± 154	880 ± 159	727 ± 172	A/C:p < 0.01, B/C:p < 0.05
<b>PRODUZIONE DI FORZA SUL PIANO VERTICALE</b>				
Percentuale di massa corporea sulle gambe nella posizione di partenza	57.4 ± 5.4	64.3 ± 10.5	59.5 ± 10	ns
Forza verticale al momento della max forza orizzontale (N)	958 ± 207	1036 ± 180	683 ± 174	A/C, B/C:p < 0.01
Forza media (N)	641 ± 101	615 ± 174	484 ± 121	A/C:p < 0.01, B/C:p < 0.05
Impulso di F (Ns)	231 ± 31	221 ± 55	178 ± 43	A/C:p < 0.01, B/C:p < 0.05
Potenza (w)	310 ± 35	330 ± 50	272 ± 45	A/C, B/C:p < 0.05
<b>FORZA RISULTANTE AL MOMENTO DELLA MAX FORZA ORIZZONTALE</b>				
Assoluta (N)	1555 ± 329	1561 ± 205	1175 ± 240	A/C, B/C:p < 0.01
Relativa (N/Kg)	20.8 ± 3.9	19.9 ± 1.9	15.3 ± 3.5	A/C; B/C:p < 0.01
Direzione della forza (gradi)	40 ± 5	42 ± 5	38 ± 4	ns
<b>PRODUZIONE MEDIA DI FORZA SUL PIANO LATERALE</b>				
(N)	37 ± 48	52 ± 37	78 ± 27	A/C:p < 0.05

**Tabella 4 - Caratteristiche della produzione di forza sui blocchi. Media ± DS (Da Mero et al., 1983). Per le caratteristiche dei gruppi vedasi Tabella 3**

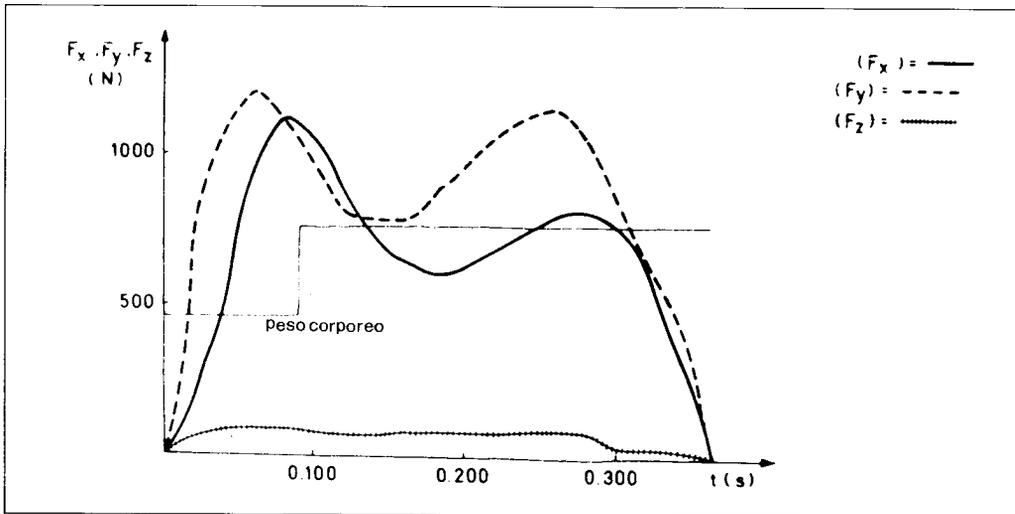


Fig. 7 - Valori medi di forza registrati sui blocchi nelle tre direzioni dello spazio: antero-posteriore ( $F_x$ ), latero-laterale ( $F_z$ ), verticale ( $F_y$ ); calcolate ad intervalli di 0.020 secondi. (Da Mero et al., 1983)

ne tra i due arti, che la percentuale di peso che grava sulle mani è superiore in atleti di più alta qualificazione ed infine, come già osservato nei precedenti studi, che una buona partenza risulta caratterizzata da grandi forze esercitate nella direzione orizzontale.

Negli studi di Mero et al. del 1983 l'analisi è stata rivolta a valutare in quale misura la fase di accelerazione venga influenzata da fattori di tipo antropometrico, dalla struttura muscolare e dalle caratteristiche di forza di ciascun soggetto (Tab. 3). In questo caso l'atleta si disponeva su blocchi montati su una piattaforma di forza, con le sole mani al di fuori di essa, in modo da registrare le curve forza-tempo nelle tre direzioni x, y, z, durante la spinta sui blocchi. Il soggetto veniva anche filmato con una telecamera ad alta velocità (100 fotogrammi al secondo) fino al terzo contatto al suolo dopo l'uscita dai blocchi. Tale studio ha consentito agli autori di concludere che esiste una correlazione positiva (anche

se non statisticamente significativa) fra percentuale di fibre muscolari di tipo rapido (FT) ed una buona prestazione nella partenza e che è estremamente importante il valore assoluto delle forze esercitate in direzione antero-posteriore e verticale sui blocchi, più che la durata della loro applicazione (Tab. 4, Fig. 7). Dall'analisi della traiettoria del centro di gravità gli autori hanno rilevato che l'abbassamento di esso, osservato durante i primi due contatti al suolo, è sicuramente un fenomeno che influenza negativamente l'incremento di velocità ricercato dagli atleti. In base a queste ultime osservazioni Mero et al. hanno sottolineato il ruolo importante giocato dalla elasticità muscolare nella produzione di forza sui blocchi e nei primi passi dopo la partenza. Gli autori, in accordo con gli studi precedenti, non hanno riscontrato correlazioni significative fra determinate caratteristiche antropometriche e di forza e la prestazione della partenza dai blocchi (Tab. 5, Tab. 6).

	Velocità sui blocchi (m/s)	Velocità in fase di accelerazione (m/s)
Statura (m)	-0.26	-0.64
Lunghezza gamba (m)	-0.22	-0.56
Fibre rapide (%)	0.59	0.62
Rapporto area fibre (Tipo I:Tipo II)	0.32	0.39
Salto da posizione semiaccosciata (m)	0.63	0.65
Salto con contromovimento (m)	0.69	0.70
Miglior salto con rimbalzo (m)	0.71	0.71
Salto triplo da fermo (lunghezza relativa *, m)	0.46	0.66
Forza assoluta massimale isometrica (107°, N)	0.60	0.46
Forza relativa isometrica massimale (107°, N/Kg)	0.51	0.60

\* Rapporto tra la lunghezza assoluta del salto e la lunghezza della gamba.  
Significatività:

r	P
0.62	< 0.001
0.51	< 0.01
0.40	< 0.05

**Tabella 5 - Coefficienti di correlazione tra velocità del CG registrata sui blocchi prima dell'abbandono degli stessi, nella fase di accelerazione (velocità del CG registrata subito dopo l'abbandono dei blocchi) ed alcune caratteristiche fisiche degli atleti esaminati (n = 25) (Da Mero et al., 1983)**

	Velocità sui blocchi * (m/s)	Velocità in accelerazione (m/s)
<b>1. Produzione di forza sui blocchi nel piano orizzontale</b>		
Impulso di forza (Ns)	0.54	0.55
Forza max (N)	0.43	0.52
Forza media (N)	0.36	0.49
Potenza (W)	0.35	0.49
<b>2. Produzione di forza sui blocchi nel piano verticale</b>		
Impulso di forza (Ns)	0.45	0.41
Forza al momento della max F.oriz.(N)	0.56	0.55
Forza media (N)	0.31	0.35
Potenza (W)	0.41	0.33
<b>3. Forza risultante sui blocchi al momento della max forza orizzontale</b>		
Assoluta (N)	0.54	0.56
Relativa (N/Kg)	0.54	0.69
<b>4. Variabili tecniche sui blocchi</b>		
Angolo coscia post/tronco al pronti (°)	-0.61	-0.40
Angolo coscia ant/tronco al pronti (°)	-0.58	-0.43
Distanza orizzontale CG-piede ant. al pronti (m)	-0.69	-0.75
Distanza orizzontale tra il piede anteriore e la linea di partenza (cm)	-0.35	-0.52
Tempo di spinta di entrambi gli arti inf. dopo il distacco delle mani (s)	0.47	0.37
Max vel. orizz. nell'oscillazione avanti del braccio (m/s)	0.40	-0.50
Vel. ang. oscillazione braccio inizio spinta gamba (rad/s)	0.66	0.62
Max. vel. vert. C.G. sui blocchi (m/s)	-0.44	-0.52
<b>5. Variabili tecniche all'abbandono dei blocchi</b>		
Abbassamento del C.G. nella seconda fase eccentrica (m)		-0.56
Somma dell'abbassamento del C.G. nella prima e seconda fase eccentrica (%)		-0.57
Durata del primo contatto (s)		-0.65
Durata del primo passo (s)		-0.69
Durata del secondo contatto (s)		-0.44
Durata del secondo passo (s)		-0.43
Ang. max gomito nei primi due passi (°)		-0.46
Frequenza del passo (Hz) **		0.64 **
Frequenza del passo (Hz) ***		0.41 ***
Frequenza del passo (Hz) ****		0.43 ****
* Velocità del C.G. al momento dell'abbandono dei blocchi		
** Frequenza del passo e velocità durante il primo passo.		
*** Frequenza del passo e velocità durante il secondo passo.		
**** Frequenza del passo e velocità durante il terzo passo.		
Significatività:		
r	P	
0.62	<0.001	
0.51	<0.01	
0.40	<0.05	

**Tabella 6 - Coefficienti di correlazione tra alcune variabili della corsa (N = 25)**  
(Da Mero et al., 1983)

Mero nel 1988 ha nuovamente focalizzato l'attenzione sulla partenza veloce, mettendo questa volta in maggiore risalto la relazione tra produzione di forza e velocità nelle fasi iniziali della corsa. Ha, inoltre, analizzato più approfonditamente le caratteristiche forza-tempo del primo contatto al suolo dopo l'abbandono dei blocchi al fine di valutare l'entità della forza frenante che in tale fase si può manifestare (Fig. 8). La strumentazione impiegata è stata praticamente la stessa dello studio precedente. Nell'analisi della posizione di partenza, lo studio di Mero ha evidenziato alcune differenze rispetto agli studi precedenti, soprattutto per quanto riguarda la distanza, sul piano orizzontale, del CG dalla linea di partenza. Secondo l'autore il cor-

po dovrebbe essere spostato, nella posizione di «set», almeno 10 centimetri più avanti rispetto alle posizioni osservate nel gruppo in esame allo scopo di ottenere una più efficace propulsione in senso orizzontale. Le altre grandezze, quali tempi di reazione e forze in gioco, non si discostano generalmente da quelle osservate in precedenti lavori, tranne che nell'entità della componente verticale della forza che sembrerebbe inferiore, secondo Mero, rispetto a quella registrata da altri autori. Nonostante la proiezione del CG al suolo sia davanti al punto del primo contatto a terra, Mero ha registrato una componente negativa nella forza orizzontale. Questo suggerirebbe che nella corsa di velocità tutti i contatti al suolo sono simili, sviluppandosi attra-

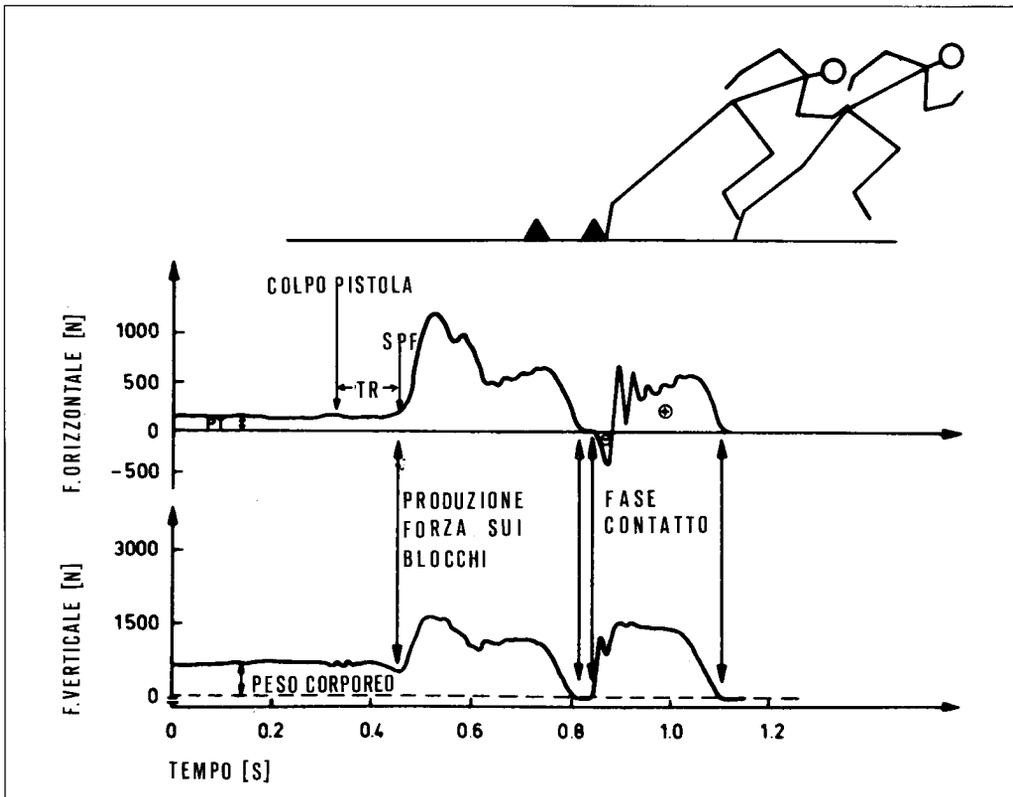


Fig. 8 - Curve di produzione di forza sul piano orizzontale e verticale registrate da un atleta. PT = soglia di produzione di forza, equivalente al 10% della massima e considerata dall'autore come il punto di origine della produzione orizzontale di forza; TR = tempo di reazione, considerato come il tempo intercorrente tra colpo di pistola e SPF; ⊖ = fase frenante, ⊕ = fase propulsiva. (Da Mero, 1988)

verso una fase frenante ed una propulsiva in rapporto fra loro in modo differente nelle varie fasi di una gara di velocità. La fase frenante del primo passo occupava infatti secondo Mero solo il 12,9% della durata totale del contatto al suolo, mentre nella fase lanciata di corsa arrivava ad occupare fino al 43% di essa. In conclusione l'autore ha sottolineato l'alto coefficiente di correlazione esistente tra produzione di forza nella fase propulsiva e velocità di corsa; ciò conferma che il momento della partenza gioca un ruolo determinante nella prestazione globale di una gara di 100 m (Tab. 7, Tab. 8).

La posizione di partenza è stata oggetto di studi anche da parte di esperti di discipline scientifiche non in relazione diretta con il mondo dello sport, tra questi studi ci è sembrato interessante il lavoro dell'antropologo Owen Lovejoy (1988), il quale afferma che durante la partenza dai blocchi (Fig. 9), l'atleta assumendo la postura quadrupedale recupera i vantaggi ad essa connessi per quanto riguarda la propulsione in senso antero-posteriore, e cioè: a) capacità di sfruttare al massimo la potenza degli arti inferiori tramite la flessione delle articolazioni dell'anca e del ginocchio; b) componente orizzontale

della reazione vincolare più cospicua tramite la proiezione del baricentro in avanti rispetto alle gambe. Sempre secondo l'autore la postura eretta avrebbe comportato la perdita di questi vantaggi dal momento che in tale posizione le articolazioni si trovano in estensione mentre il baricentro si colloca sopra le gambe.

## MATERIALI E METODI

### 1 - Soggetti

Gli esperimenti sono stati effettuati su due soggetti. Entrambi gli atleti selezionati praticavano lo sport della corsa veloce da diverso tempo ma con differenti indirizzi specialistici. Un atleta (ML) era uno sprinter puro, mentre l'altro (WT) si dedicava soprattutto agli ostacoli alti (110 metri hs). Inoltre, come si evince dalla lettura della Tabella 9, i due presentavano spiccate differenze di ordine antropometrico.

### 2 - Sistema di misura

La strumentazione utilizzata comprende i seguenti elementi:

	Media	DS
Tempo di reazione (s)	0.118	0.016
Durata produzione forza (s)	0.342	0.022
<b>PRODUZIONE DI FORZA SUL PIANO ORIZZONTALE</b>		
Forza massima (N)	1.216	182
Tempo per il picco massimo (s)	0.068	0.011
Forza media (N)	655	76
Impulso di forza (Ns)	223	18
<b>PRODUZIONE DI FORZA SUL PIANO VERTICALE (forza netta)</b>		
Forza massima (N)	766	202
Tempo per il picco massimo (s)	0.083	0.013
Forza media (N)	505	72
Impulso di forza (Ns)	173	30
<b>FORZA MAX RISULTANTE AL MOMENTO DELLA MAX FORZA ORIZZONTALE</b>		
Absoluta (N)	1.426	213
Relativa (N/Kg)	19.3	2.2
Direzione della forza (°)	32	7
Velocità sui blocchi (m/s)	3.46	0.32

**Tabella 7 - Tempo di reazione, produzione di forza sui blocchi e velocità di uscita dai blocchi (Da Mero, 1988)**

	Media	DS
FASE FRENANTE (s)	0.022	0.005
<b>PRODUZIONE DI FORZA SUL PIANO ORIZZONTALE</b>		
Forza massima (N)	-316	98
Forza media (N)	-153	67
Impulso di forza (Ns)	-3	2
<b>PRODUZIONE DI FORZA SUL PIANO VERTICALE (forza netta)</b>		
Forza massima (N)	263	102
Forza media (N)	148	50
Impulso di forza (Ns)	3	2
FASE PROPULSIVA (s)	0.171	0.035
<b>PRODUZIONE DI FORZA SUL PIANO ORIZZONTALE</b>		
Forza massima (N)	788	96
Forza media (N)	526	75
Impulso di forza (Ns)	90	11
<b>PRODUZIONE DI FORZA SUL PIANO VERTICALE (forza netta)</b>		
Forza massima (N)	739	194
Forza media (N)	431	100
Impulso di forza (Ns)	74	13
VELOCITÀ DI CORSA AL TERMINE DEL PRIMO CONTATTO (m/s)	4.65	0.28

**Tabella 8 - Produzione di forza e velocità di corsa al primo contatto dopo l'abbandono dei blocchi. (Da Mero, 1988)**

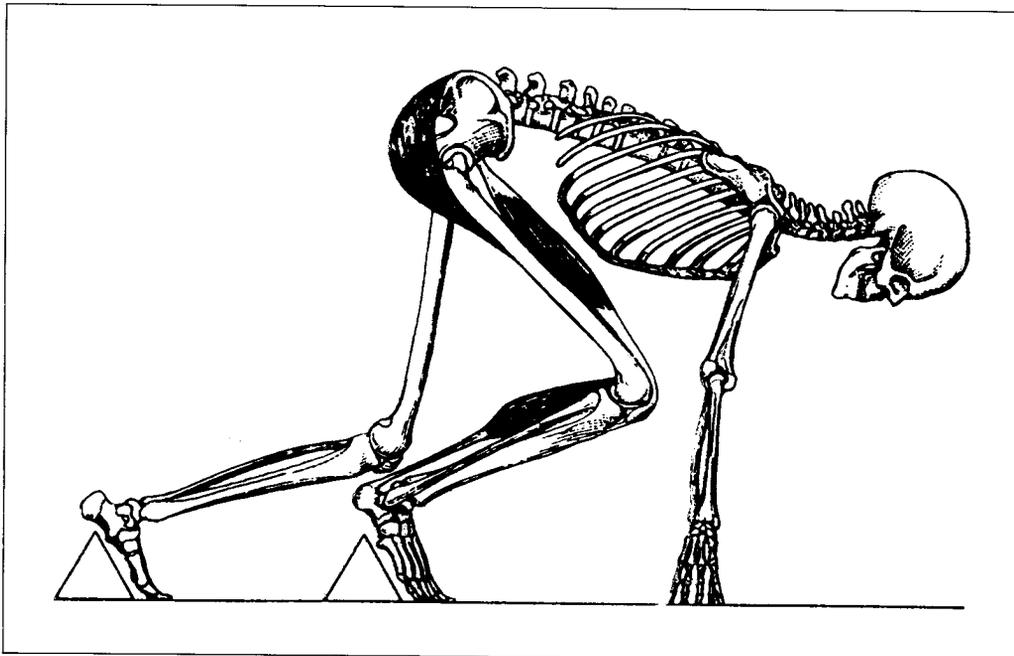


Fig. 9 - Tratto da Owen Lovejoy (1988)

a) Blocchi di partenza. Di tipo regolamentare con la sola differenza che i due blocchi sono fissati al supporto centrale tramite trasduttori di forza ad estensimetri resistivi. Questi sono in grado di rilevare le forze applicate dall'atleta separatamente sui due blocchi, nelle loro componenti verticali, medio-laterali ed antero-posteriori. Tale dispositivo è concepito in modo tale che ciascun atleta possa regolare la posizione relativa dei blocchi nonché la loro inclinazione secondo le proprie esigenze.

b) Piattaforma dinamometrica. Dimensioni 90 x 90 cm, a estensimetri resistivi (Bertec Corporation, USA). È posta davanti ai blocchi in modo che l'atleta, lasciati gli stessi, esegua il primo appoggio su di essa. Inoltre, grazie a due superfici rettangolari aggiunte sulla parte anteriore della pedana (Fig. 10) è stato possibile far appoggiare anche le mani dell'atleta sulla piattaforma di forza. In questo modo il sistema è in grado di registrare le forze applicate, in direzione antero-posteriore, medio-laterale e verticale, dalle mani dell'atleta in posizione di partenza e dal suo arto inferiore quando realizza il primo contatto al suolo, nonché i momenti di tali forze, rispetto agli assi di simmetria della piattaforma. Quest'ultima informazione consente di determinare il punto di applicazione della reazione vincolare.

c) Accelerometro. È collocato sotto la pedana di legno che segue la piattafor-

ma dinamometrica. Esso consente di segnalare l'istante di tempo in cui avviene il secondo contatto a terra mediante registrazione delle vibrazioni prodotte dall'impatto del piede sulla pedana.

d) Amplificatore. Il sistema di trasduttori a estensimetri posto sui blocchi e sulla piattaforma insieme alle relative centraline estensimetriche, generano in uscita delle tensioni elettriche che subiscono una amplificazione prima di essere inviate ad un convertitore per la trasformazione analogico-digitale.

e) Sistema di registrazione. I dati numerici (dopo la conversione A/D) vengono acquisiti e memorizzati da un Personal Computer Olivetti M24 con una frequenza di campionamento di 1000 campioni al secondo. L'intervallo di tempo scelto per l'acquisizione dei dati era di 1000 ms dal segnale acustico concordato per la partenza. La durata di tale periodo rendeva possibile la registrazione dei dati, anche per atleti non particolarmente veloci, fino al secondo contatto al suolo dopo l'uscita dai blocchi.

Dopo aver preliminarmente regolato i blocchi secondo le proprie esigenze, ogni atleta eseguiva per tre volte una partenza alla massima velocità compiendo almeno 5 passi in piena spinta.

### 3 - Elaborazione dei dati

I dati numerici registrati, provenienti dai 2 blocchi di partenza, dalla pedana

		soggetti	
		ML	WT
Età	(anni)	27	17
Statura	(m)	1.70	1.80
Massa	(Kg)	71	68

di forza e dall'accelerometro, sono stati elaborati dal Personal Computer in modo da fornire per ogni esperimento le seguenti informazioni:

a) Grafico forza-tempo registrato dal blocco anteriore, dal blocco posteriore, dalla piattaforma dinamometrica per ciascuna delle componenti in direzione antero-posteriore, medio-laterale e verticale (rispettivamente assi di laboratorio x, y e z).

b) Grafico forza-tempo totale riferito ai due blocchi considerati simultaneamente ed alla pedana nelle tre direzioni prima citate; va osservato che la stessa funzione temporale è descrittiva, salvo un fattore di scala uguale alla massa corporea, anche della accelerazione del centro di gravità (vedi Appendice).

c) Variazioni temporali delle coordina-

te del centro di gravità e relative velocità lungo gli assi x, y, z, ottenute dai dati dinamometrici come mostrato in Appendice.

d) Traiettoria del baricentro sul piano sagittale.

Sono stati considerati inoltre i seguenti parametri con riferimento alle due direzioni dello spazio x e z (si vedano le figure 11, 12 e 13):

— durata di applicazione della forza ( $\Delta T_a$ ) sul blocco anteriore, sul blocco posteriore e sulla pedana dinamometrica;

— picco massimo di forza ( $F_{max}$ ), sul blocco anteriore (considerando primo e secondo picco), sul blocco posteriore e sulla pedana dinamometrica (su quest'ultima viene registrato un primo picco di forza dovuto alla spinta esercitata dalle mani ed un secondo picco che si riferisce all'azione dell'arto inferiore);

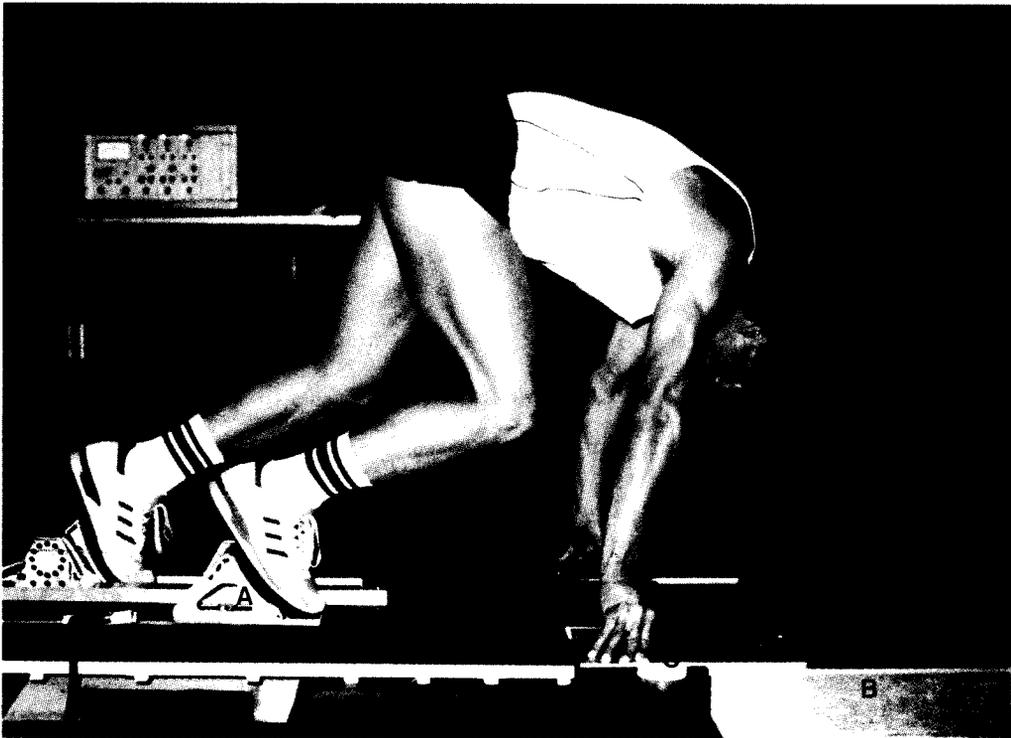


Fig. 10 - Visione della strumentazione utilizzata:

A = blocchi strumentati per il rilievo dei dati dinamici;

B = piattaforma dinamometrica;

C = superfici di appoggio per le mani connesse alla pedana di forza

— tempo intercorrente tra il segnale di partenza e l'inizio di produzione della forza sui blocchi e sulla piattaforma dinamometrica ( $\Delta T_i$ ); è stato considerato come punto d'inizio dell'applicazione della forza sul blocco il momento in cui si registra una brusca variazione nella pendenza della curva relativa;

— tempo impiegato per raggiungere i picchi massimi di forza sopracitati ( $\Delta T_m$ ).

## RISULTATI

I dati riportati fanno riferimento solamente ad una delle tre prove effettuate da ciascun atleta in quanto abbiamo rilevato l'estrema ripetibilità intraindividuale dei risultati ottenuti a conferma di una elevata automazione di tale gesto tecnico. Quest'ultima considerazione è in accordo con quanto già osservato da altri autori (Payne e Blader, 1971; Baumann, 1976). Questi affermano infatti che l'andamento nel tempo dei principali parametri studiati è così tipico per ciascun atleta da potersi assumere quasi come sua «impronta digitale».

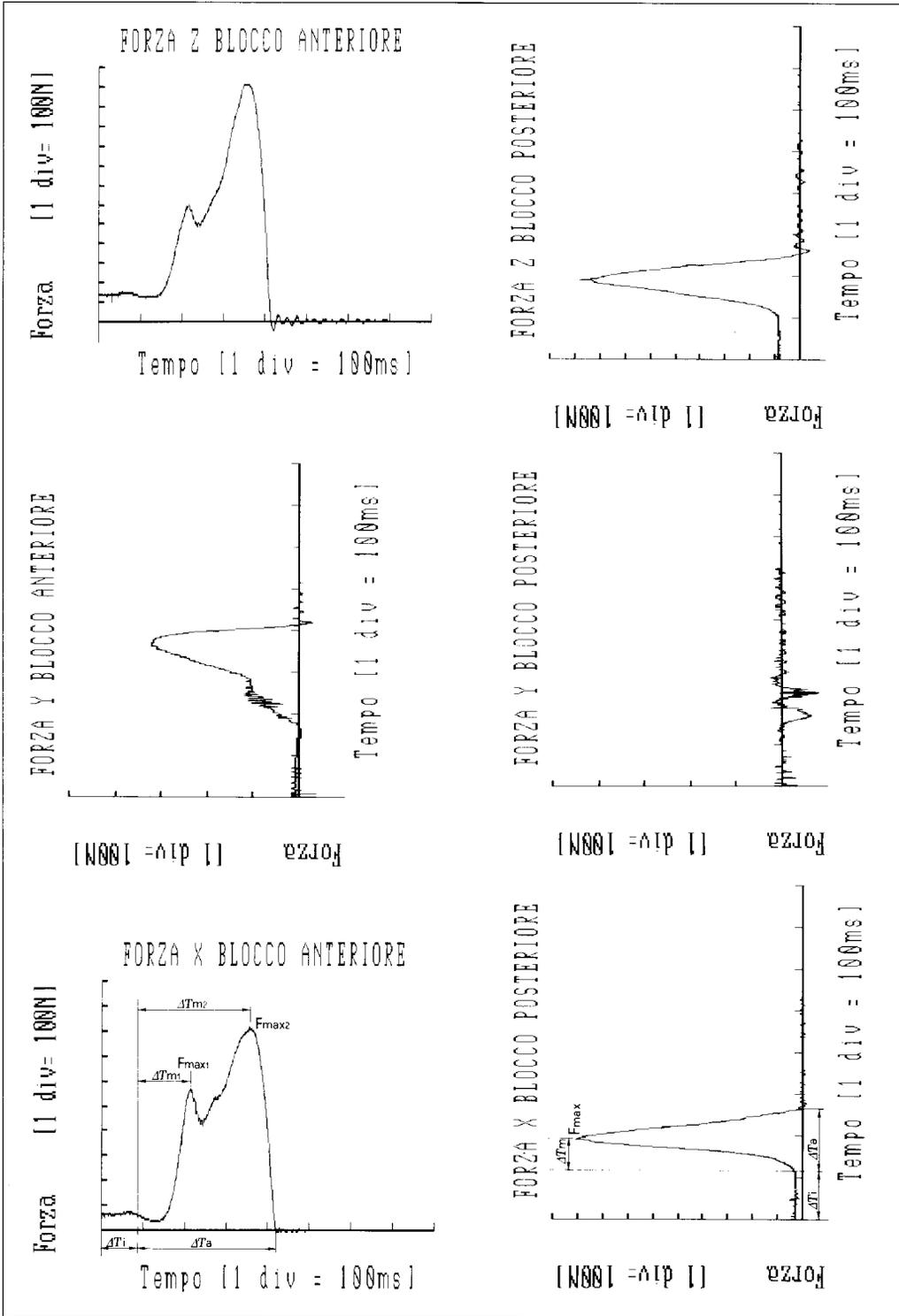
Le figure 11, 12 e 13 mostrano l'andamento della dinamica della partenza dai blocchi sotto forma di curve forza-tempo, rispettivamente riferite ai blocchi (Fig. 11), alla pedana dinamometrica (Fig. 12) ed al totale delle forze espresse nell'esecuzione di tale gesto (Fig. 13). Il confronto fra le curve ottenute ci consente di valutare meglio il differente ruolo giocato dai due arti inferiori. Risulta evidente il maggior contributo dato dall'arto posto anteriormente per ottenere una buona spinta sui blocchi. Infatti l'area sottesa dalla curva risulta sempre maggiore se confrontata con quella corrispondente del blocco posteriore rispetto a tutte e tre le direzioni dello spazio. Sempre sul blocco anteriore si registra un tipico andamento caratterizzato dalla presenza di due picchi di forza, più evidente nella direzione antero-posteriore ma comunque presente anche nelle altre due; tale aspetto è in

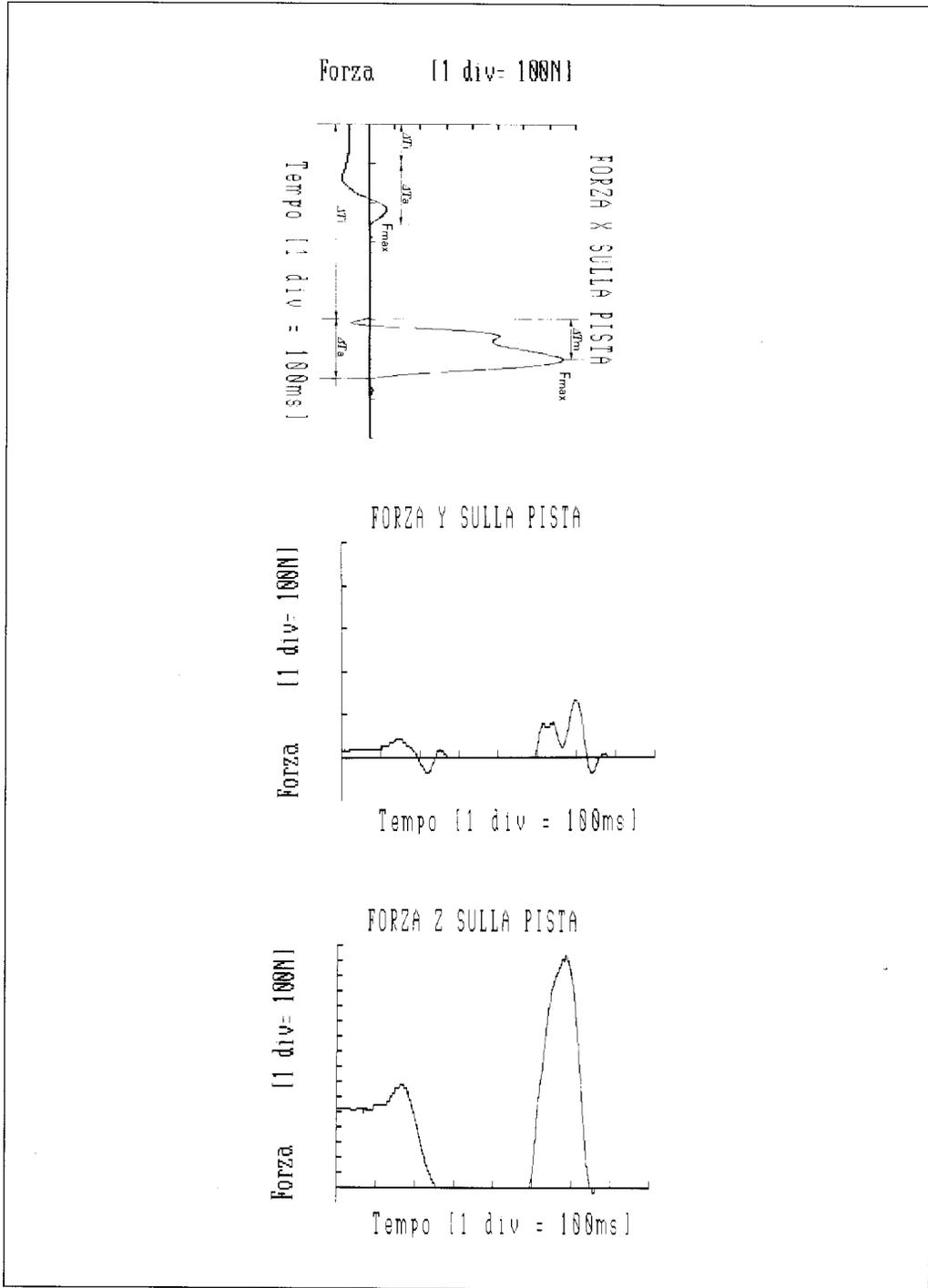
accordo con quanto osservato da altri autori (Henry 1952, Payne e Blader 1971). L'andamento della curva, concernente il blocco posteriore, fornisce una buona rappresentazione del ruolo svolto dall'arto che agisce su di esso il quale esercita una spinta caratterizzata da un breve tempo di applicazione e con un rapido raggiungimento del picco massimo di forza, che si evidenzia in una curva a campana con una base molto stretta.

La figura 12 permette un'analisi globale degli eventi registrati dalla pedana dinamometrica: il primo picco riferendosi alle mani ed il secondo al primo contatto del piede al suolo. Il ritorno allo zero del primo picco che appare sul grafico segna il momento del distacco delle mani ed il rapido innalzamento che si registra dopo circa 250 ms indica l'inizio del primo contatto al suolo. Dalla componente  $x$  della forza, agente sul piede in direzione postero-anteriore, si vede che l'atleta è in grado di esprimere immediatamente una spinta propulsiva efficace. Questa componente può presentare un picco negativo all'inizio del contatto con un ovvio effetto frenante. Ciò è stato osservato nel soggetto ML ed in risultati analoghi riportati in letteratura (Mero, 1988; Fig. 8).

La figura 13 mostra le curve forza-tempo totali registrate durante l'esperimento, nella direzione antero-posteriore e verticale, dove risulta evidente la scarsa capacità discriminativa che si ottiene senza un'analisi separata dei due blocchi di partenza.

Le figure 14 e 15 fanno riferimento alla cinematica del baricentro del soggetto. La figura 14 rappresenta la posizione del centro di gravità durante la prova nelle tre direzioni dello spazio. È facilmente rilevabile come la curva che descrive lo spostamento del baricentro lungo l'asse antero-posteriore sia quasi lineare a differenza di quella dell'asse verticale che presenta due punti di flesso in coincidenza con l'inizio e la fine della prima fase di volo dopo la partenza.





366 Fig. 12 - Curve forza-tempo registrate sulla pedana dinamometrica nei tre piani dello spazio (Soggetto WT)

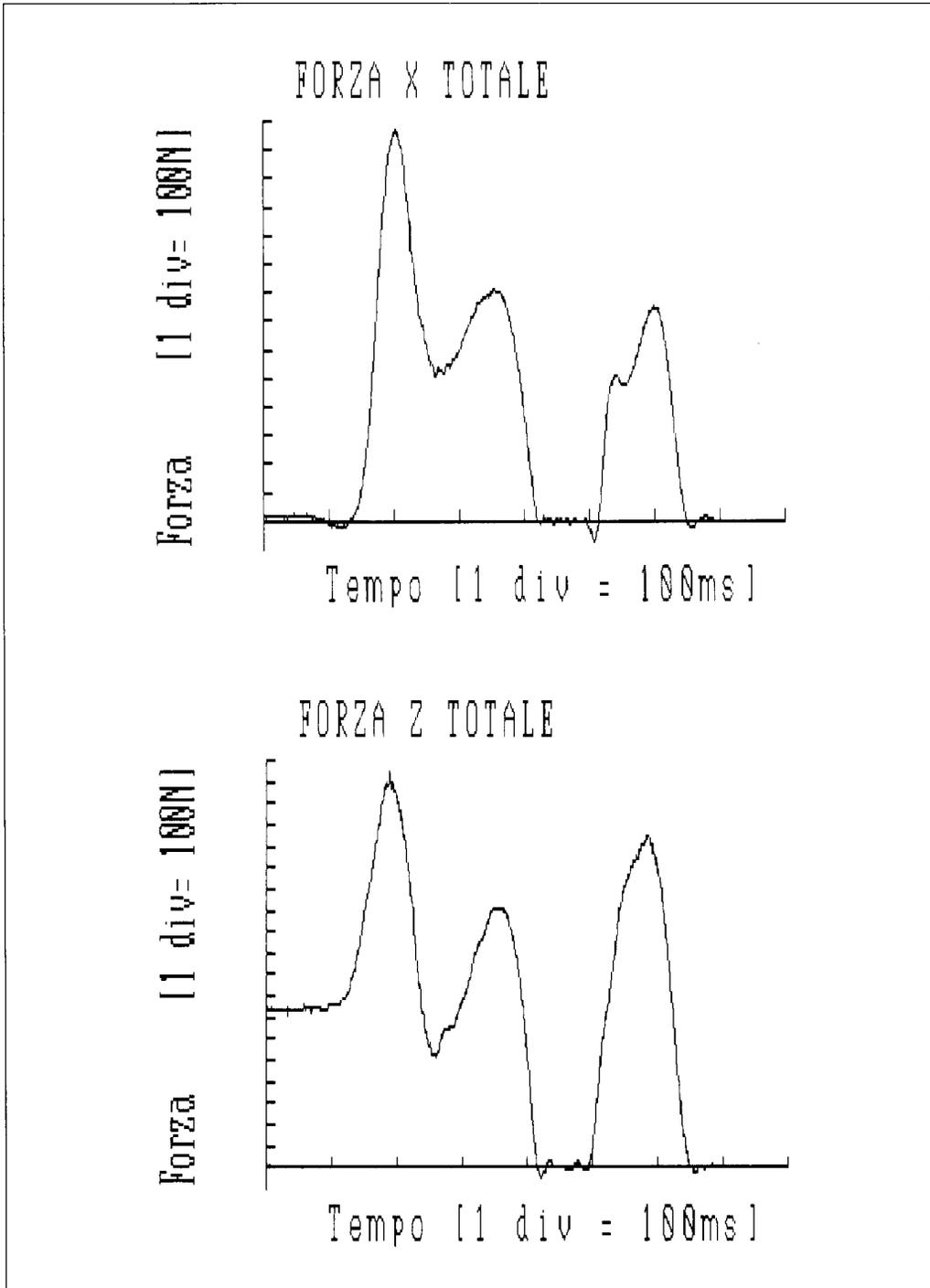
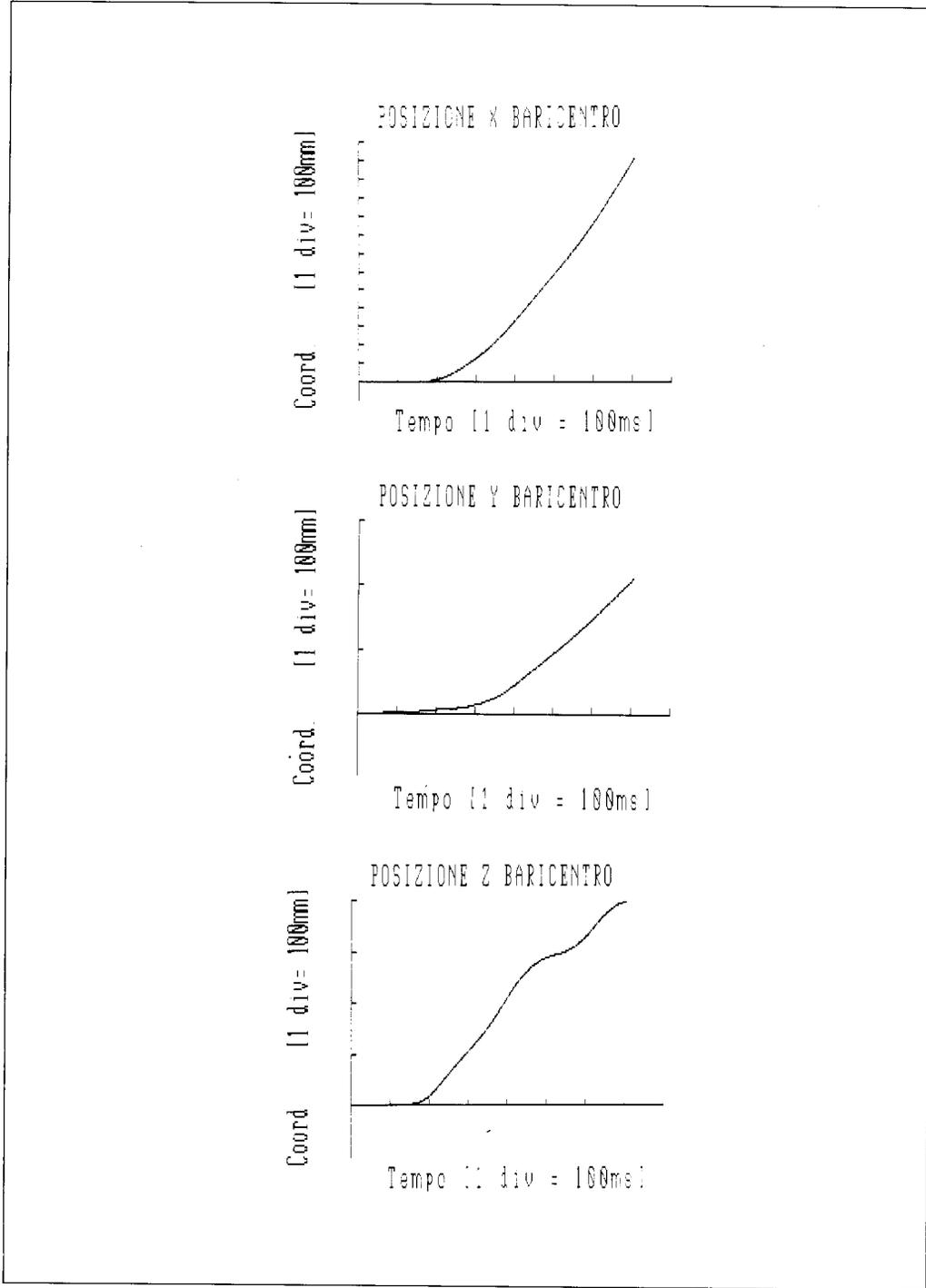


Fig. 13 - Curve forza-tempo totali (blocchi più pedana) riferite al piano antero-posteriore (x) e a quello verticale (z). (Soggetto WT)



368 Fig. 14 - Posizione del centro di gravità nelle tre direzioni dello spazio. (Soggetto WT)

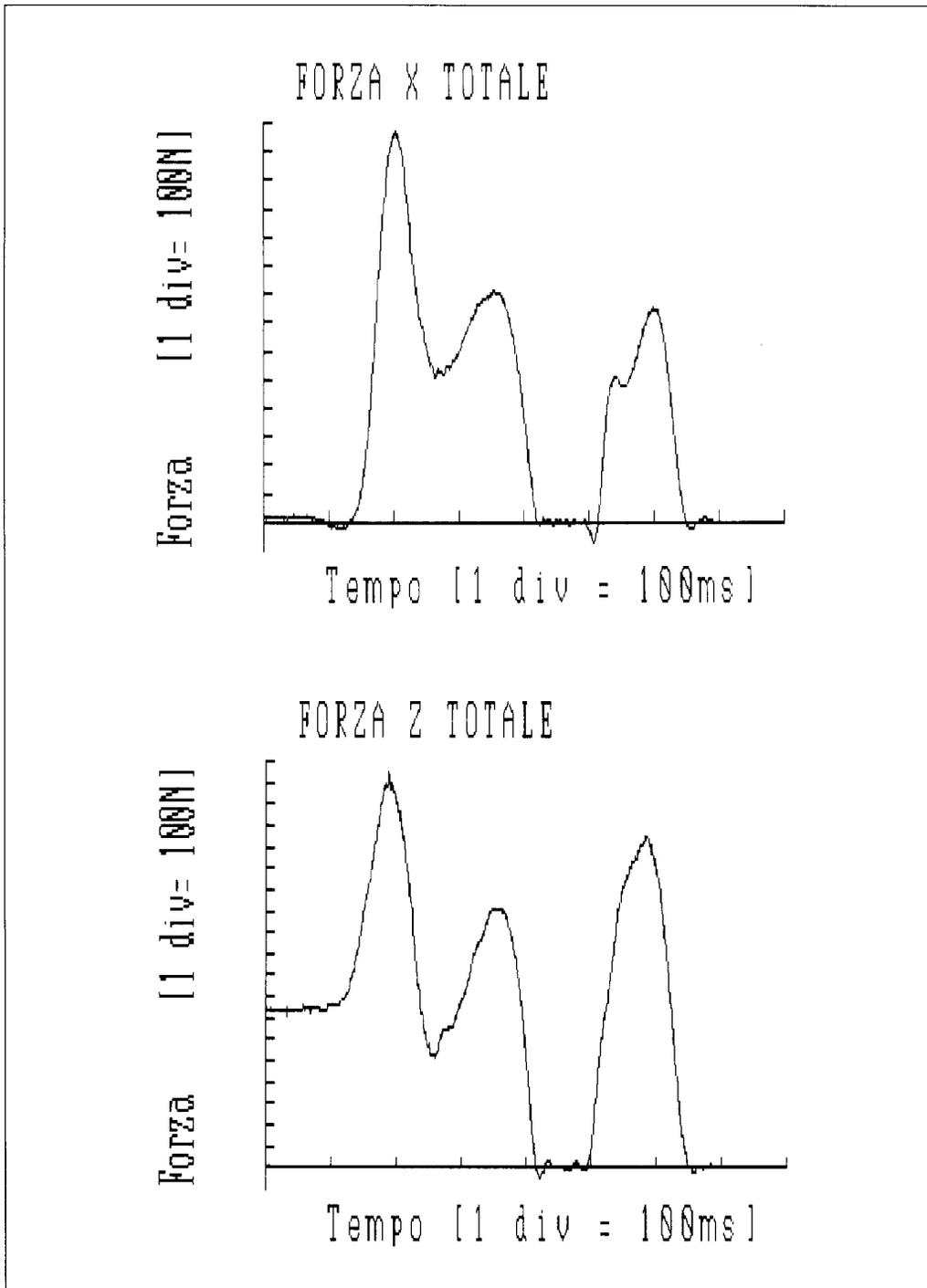
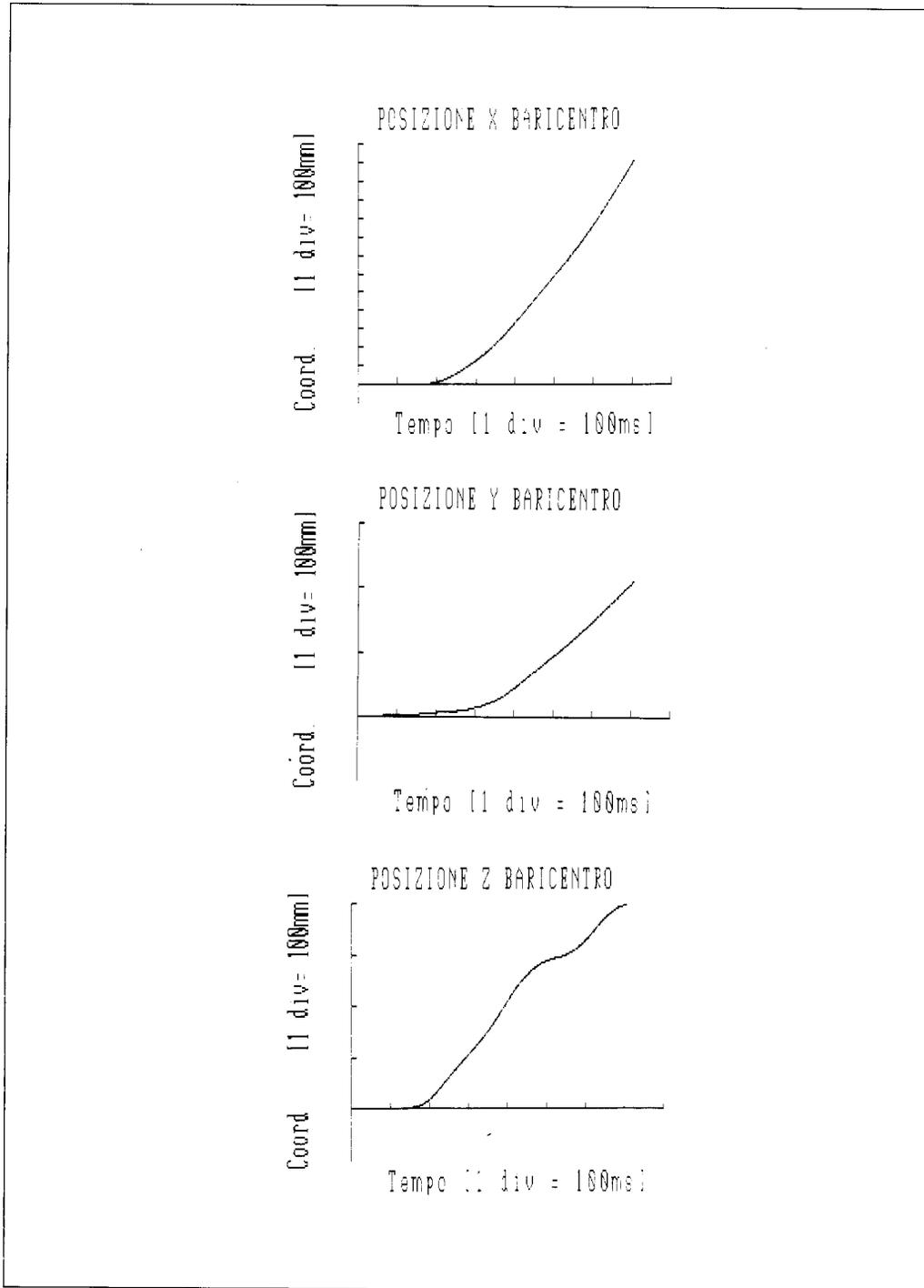


Fig. 13 - Curve forza-tempo totali (blocchi più pedana) riferite al piano antero-posteriore (x) e a quello verticale (z). (Soggetto WT)



368 Fig. 14 - Posizione del centro di gravità nelle tre direzioni dello spazio. (Soggetto WT)

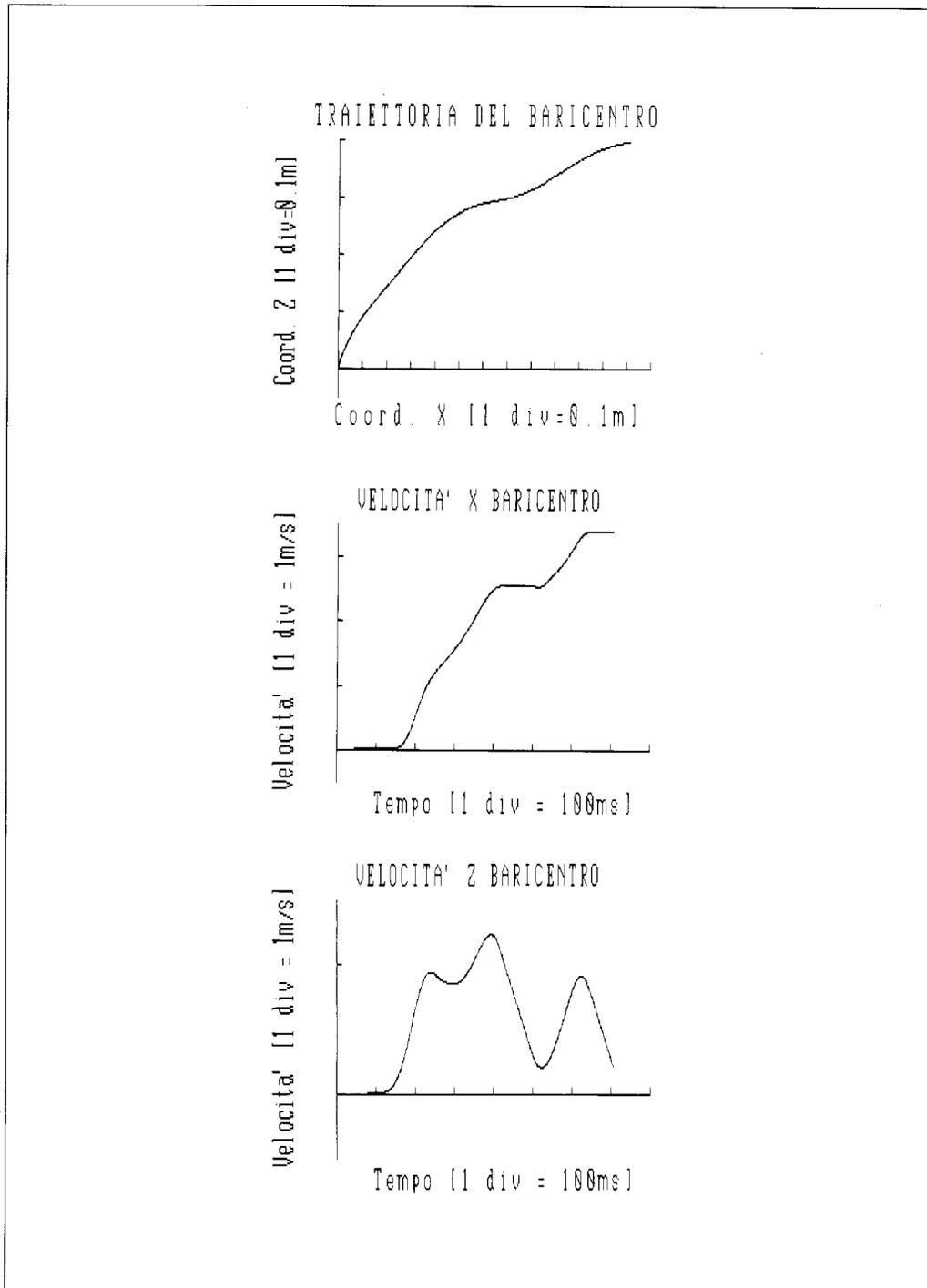


Fig. 15 - Traiettoria dei CG sul piano sagittale (15a), velocità di spostamento del baricentro in direzione antero-posteriore (15b) e verticale (15c). (Soggetto WT)

La figura 15 riporta: a) la traiettoria del baricentro sul piano sagittale, che risulta utile per verificare ad esempio la diversa quota nonché l'avanzamento raggiunto dal baricentro del soggetto durante la partenza; b) la velocità di spostamento del centro di gravità nelle direzioni antero-posteriore e verticale; il plateau presente lungo l'asse x coincide con la prima fase di volo durante la quale ovviamente, essendo nulla l'accelerazione, la velocità si mantiene costante. La velocità verticale nel medesimo intervallo di tempo diminuisce progressivamente in ragione del fatto che l'atleta risulta sottoposto alla sola azione della forza di gravità.

Le Tabelle 10, 11 e 12, mostrano i valori numerici relativi alla durata di applicazione delle forze misurate. Occorre aggiungere che, anche se le forze sono state registrate nelle tre direzioni dello spa-

zio, abbiamo deciso di non presentare in queste tabelle i dati concernenti le loro componenti laterali. Esse sono risultate infatti di piccola entità e non sono comunque significative nello studio della propulsione dell'atleta nella direzione di progressione.

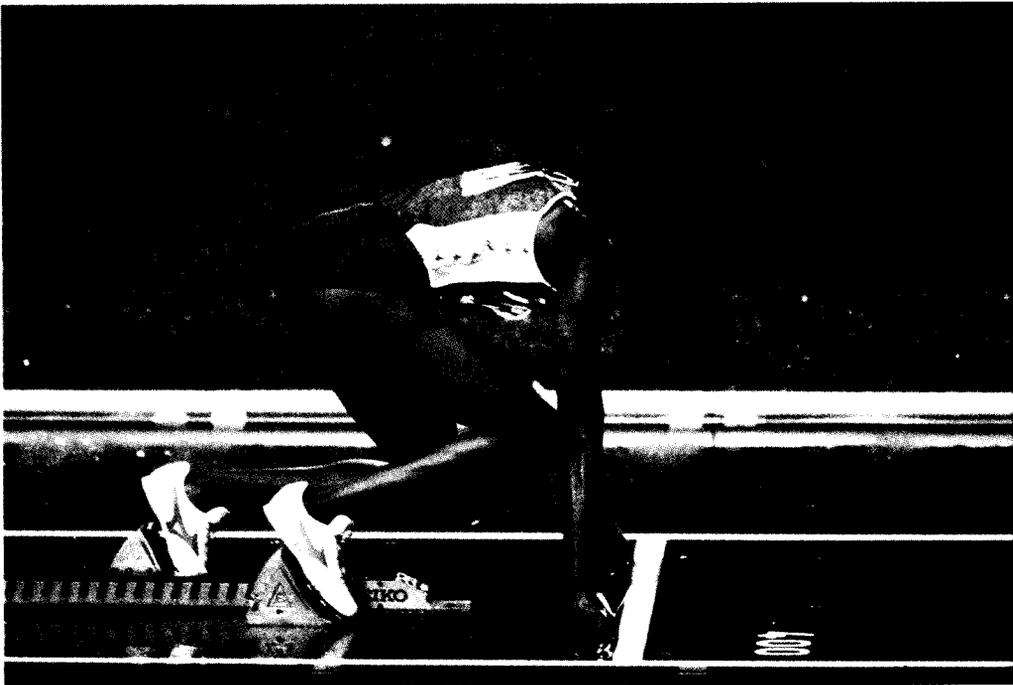
I parametri prescelti e definiti in un precedente paragrafo consentono una descrizione completa del fenomeno studiato. Infatti dalla lettura dei valori di  $\Delta T_i$  nelle Tabelle 10 e 11 ci si può rendere conto di come l'inizio della spinta sui due blocchi sia pressoché simultaneo. L'osservazione di  $\Delta T_m$  e della  $F_{max}$  dimostra differenze tra un blocco e l'altro: sul blocco posteriore l'atleta riesce a raggiungere rapidamente ( $\Delta T_m$ ) il picco massimo di forza ( $F_{max}$ ). Quest'ultimo è tuttavia un valore assoluto minore rispetto a quello registrato sul blocco anteriore per il quale risulta più lungo anche il tempo di ap-

		soggetti	
		ML	WT
<b>BLOCCO ANTERIORE</b>			
$\Delta T_i$	(ms)	100	110
$\Delta T_a$	(ms)	270	280
$F_{max1}$	(N)	740	615
$F_{max2}$	(N)	845	835
$\Delta T_{m1}$	(ms)	70	65
$\Delta T_{m2}$	(ms)	190	220
<b>BLOCCO POSTERIORE</b>			
$\Delta T_i$	(ms)	100	85
$\Delta T_a$	(ms)	115	155
$F_{max}$	(N)	668	597
$\Delta T_m$	(ms)	60	75
Legenda: $\Delta T_i$ = tempo intercorrente tra segnale di partenza ed inizio di produzione della forza; $\Delta T_a$ = tempo di applicazione della forza; $F_{max}$ = picco massimo di forza raggiunto; $\Delta T_m$ = tempo impiegato per il raggiungimento del picco massimo di forza; $F_{max1, 2}$ e $\Delta T_{m1, 2}$ fanno riferimento al blocco anteriore che normalmente presenta due picchi di forza.			
<b>Tabella 10 - Entità e durata di applicazione delle forze sui blocchi in direzione antero-posteriore</b>			

		soggetti	
		ML	WT
<b>BLOCCO ANTERIORE</b>			
$\Delta T_i$	(ms)	100	120
$\Delta T_a$	(ms)	255	265
Fmax1	(N)	705	715
Fmax2	(N)	1112	1333
$\Delta T_{m1}$	(ms)	70	55
$\Delta T_{m2}$	(ms)	200	210
<b>BLOCCO POSTERIORE</b>			
$\Delta T_i$	(ms)	95	95
$\Delta T_a$	(ms)	125	130
Fmax	(N)	565	523
$\Delta T_m$	(ms)	60	65

Legenda: vedasi Tabella 10.

**Tabella 11 - Entità e durata di applicazione delle forze sui blocchi in direzione verticale**



plicazione della forza ( $\Delta Ta$ ). Gli stessi parametri ( $\Delta Ti$ ,  $\Delta Tm$ ,  $\Delta Ta$ ,  $F_{max}$ ) riferiti alle mani, permettono di valutare lo «sbilanciamento» dell'atleta in avanti al momento della partenza e l'entità e direzione dell'impulso esercitato dagli arti superiori nei primissimi momenti dell'avvio fino al distacco delle mani dal suolo. Sull'asse verticale si registra il picco di forza più alto ( $F_{max}$ ) ed il minor tempo per il suo raggiungimento ( $\Delta Tm$ ) rispetto all'asse antero-posteriore.

Per quanto riguarda una descrizione più focalizzata sulla cinematica della partenza dai blocchi, nella Tabella 13 vengono riportate le posizioni e le velocità del baricentro lungo gli assi x e z in alcuni momenti particolarmente significativi ai fini della descrizione e cioè: istante in cui si verifica il distacco delle mani dal suolo, del piede posteriore, del piede anteriore, inizio e fine del primo contatto del piede sulla pedana dinamometrica ed inizio del secondo contatto.

		soggetti	
		ML	WT
<b>Produzione di forza in direzione antero-post.</b>			
MANI			
$\Delta Ti$	(ms)	105	90
$\Delta Ta$	(ms)	60	85
$F_{max}$	(N)	40	55
PRIMO CONTATTO PIEDE			
$\Delta Ti$	(ms)	445	490
$\Delta Ta$	(ms)	180	140
$F_{max}$	(N)	780	680
$\Delta Tm$	(ms)	545	570
<b>Produzione di forza in direzione verticale</b>			
MANI			
$\Delta Ti$	(ms)	105	90
$\Delta Ta$	(ms)	85	130
$F_{max}$	(N)	730	680
PRIMO CONTATTO PIEDE			
$\Delta Ti$	(ms)	445	490
$\Delta Ta$	(ms)	165	140
$F_{max}$	(N)	1628	1739
$\Delta Tm$	(ms)	530	550
Legenda: vedasi Tabella 10.			
<b>Tabella 12 - Entità e durata di applicazione delle forze sulla pedana dinamometrica</b>			

## CONCLUSIONI

Riteniamo che la nostra ricerca abbia raggiunto gli obiettivi posti nel capitolo introduttivo, infatti l'apparato strumentale da noi adottato si è dimostrato valido, affidabile ed utilizzabile anche sul campo considerando la maneggevolezza delle apparecchiature impiegate.

Anche ispirandosi a studi condotti da altri autori, è stato possibile mettere a punto un sistema di analisi globale dei più rilevanti parametri dinamici e cinematici della partenza dai blocchi. Ci sembra di aver contribuito ad arricchire ed approfondire i dati disponibili in letteratura sull'argomento, tenendo conto che gli studi precedenti avevano limitato l'esame ad aspetti parziali o soltanto ad alcuni dei parametri significativi di una particolare fase di partenza dai blocchi.

Per quanto riguarda l'analisi dinamica del gesto tecnico preso in esame, abbiamo ottenuto una descrizione estremamente dettagliata di esso grazie alla registrazione separata dei dati provenienti dai due blocchi, completata da quella concernente il primo passo di corsa nonché l'azione di spinta delle mani al suolo (fino ad ora non quantizzata da alcun

autore). È ovvio che la possibilità di disporre di una maggiore estensione della superficie strumentata per il rilievo dei dati dinamici, consentirebbe di analizzare i successivi cicli di corsa, e quindi ottenere una ancora più completa valutazione della fase di accelerazione.

Va inoltre ricordato che la descrizione dell'andamento dei principali parametri cinematici fornita nel presente studio, è stata ottenuta sulla base dei dati dinamici, e quindi senza l'ausilio delle riprese cinematografiche ad alta velocità. Tutto ciò, oltre che risultare notevolmente vantaggioso da un punto di vista pratico, riduce il margine di errore in quanto elimina tutte quelle imprecisioni insite nelle analisi delle riprese cinematografiche (collocazione markers, lettura fotogrammi, ecc.).

La metodologia è tale da non modificare le condizioni normali in cui viene eseguito questo esercizio, aspetto questo apprezzato dall'atleta ma anche dallo sperimentatore che, in questo modo, ubbidisce ad uno dei criteri fondamentali della teoria delle misure.

Il sistema di misura è in fase di avanzata installazione sul campo dove si prevede possa presto incominciare il suo servizio di routine.

Parametri	Tempi [ms]		$(x-x_0)$ [m]		$(z-z_0)$ [m]		$(v_x)$ [m/s]		$(v_z)$ [m/s]	
	ML	WT	ML	WT	ML	WT	ML	WT	ML	WT
Dm	192	219	0.04	0.09	0.04	0.08	1.15	0.58	0.64	0.88
Dpp	213	224	0.06	0.10	0.04	0.09	1.20	1.35	0.65	0.89
Dpa	361	390	0.35	0.40	0.17	0.26	2.48	2.56	0.76	1.28
I1cp	445	495	0.63	0.69	0.20	0.35	2.48	2.56	-0.03	0.24
F1cp	606	630	1.02	1.14	0.24	0.44	3.39	3.30	0.45	0.53
I2cp	646	698	1.14	1.28	0.25	0.45	3.39	3.30	0.15	0.07

Tabella 13 - Posizione e velocità del baricentro sull'asse antero-posteriore e verticale nei seguenti momenti: al distacco delle mani (Dm), del piede posteriore (Dpp), del piede anteriore (Dpa), all'inizio del primo contatto in pedana (I1cp), al suo termine (F1cp) ed all'inizio del secondo contatto (I2cp). I tempi indicati in tabella sono stati misurati a partire dal segnale di partenza

**APPENDICE**

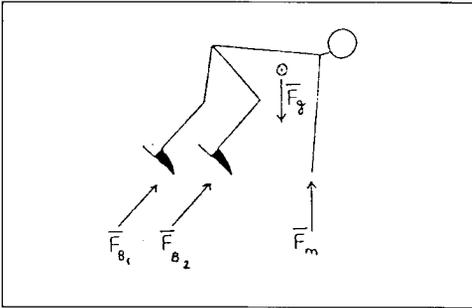
Per meglio comprendere la metodologia utilizzata nel presente studio è necessario richiamare alcuni principi fondamentali di meccanica.

Dato un corpo rigido soggetto ad un sistema di forze, vale la seguente equazione:

$$\bar{F} = m \cdot \bar{a}_{cg} \quad (1)$$

dove  $\bar{F}$  è la risultante di tutte le forze agenti sul corpo,  $m$  la sua massa e  $\bar{a}_{cg}$  l'accelerazione del suo baricentro.

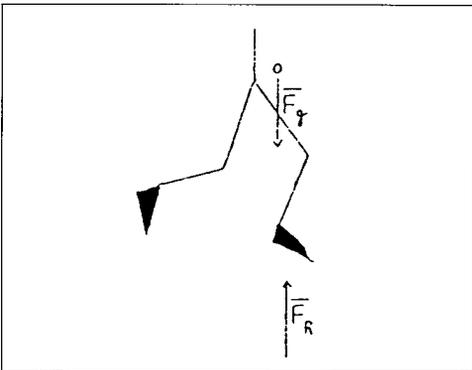
Applicando questa equazione all'atleta e sostituendo ai vincoli le forze relative (Fig. A1 e Fig. A2), si ottengono le seguenti relazioni.



Durante la fase di partenza:

$$\bar{F}_{B_1} + \bar{F}_{B_2} + \bar{F}_m + \bar{F}_g = m \cdot \bar{a}_{cg} \quad (2)$$

Dove  $\bar{F}_{B_1}$  e  $\bar{F}_{B_2}$  sono le forze esercitate dai blocchi sui piedi del soggetto,  $F_g$  rappresenta la forza di gravità ed  $F_m$  la forza che la pista esercita sulle mani.



Durante le fasi di volo:

$$\bar{F}_g = m \cdot \bar{a}_{cg} \quad (3)$$

Durante il primo appoggio:

$$\bar{F}_R + \bar{F}_g = m \cdot \bar{a}_{cg} \quad (4)$$

Dove  $\bar{F}_R$  è la forza che il suolo esercita sul piede in contatto.

Tutte le forze che compaiono nelle equazioni 2, 3 e 4, nonché la massa del soggetto, sono misurabili come illustrato nel testo del presente articolo.

Utilizzando tali misure è perciò possibile calcolare l'accelerazione istantanea del baricentro secondo le sue componenti rispetto agli assi di laboratorio:

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{F_x}{m} \\ a_y &= \frac{F_y}{m} \\ a_z &= \frac{F_z}{m} \end{aligned} \quad (5)$$

dove  $F_x$ ,  $F_y$  e  $F_z$  sono le componenti della forza risultante che in un certo istante di tempo agisce sul corpo dell'atleta.

Dalla conoscenza di  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ , e per la stessa definizione di accelerazione, con riferimento ad una generica componente e all'i-esimo intervallo di tempo, si può scrivere:

$$\Delta v_i = a_i \cdot \Delta t \quad (6)$$

La velocità del baricentro del soggetto in funzione del tempo è dunque ottenibile come somma degli incrementi relativi e del suo valore iniziale:

$$v_n = v_0 + \sum_1^n \Delta v_i \quad (7)$$

Nel caso particolare in esame  $v_0$  è noto ed ha valore nullo.

Analogamente, per definizione di velocità, si può scrivere, con riferimento alla coordinata generica  $c$ :

$$\Delta c_i = v_i \cdot \Delta t, \quad (8)$$

e dunque calcolare le coordinate del baricentro come somma dei loro incrementi rispetto al loro valore iniziale  $c_0$ :

$$c_n = c_0 + \sum_1^n \Delta c_i \quad (9)$$

Si noti che  $c_0$  non è ottenibile con la strumentazione utilizzata nel presente lavoro.

### **Indirizzo degli Autori**

*Ing. Aurelio Capozzo*  
*Istituto di Fisiologia Umana*  
*Università degli Studi «La Sapienza»*  
*P.le Aldo Moro, 5 - 00185 Roma*

### **Bibliografia**

1. ATWATER A.E.: *Kinematic analysis of sprinting*. Track and Field Quarterly Review, vol. 82, 2:12-16, 1982.
2. BAUMANN W.: *Kinematic and dynamic characteristics of the sprint start*. In: Komi P.V., ed Biomechanics VB. University Park Press, Baltimore, pp. 194-199, 1976.
3. BENDER W.R.G.: *Factors contributing to speed in the start of a race and characteristics of trained sprinters*. Research Quarterly (1 suppl.), 5:72-78, 1934.
4. BORZOV V.: *Optimal starting position*. Modern Athlete and Coach, January, 1980.
5. CAPPOZZO A., GAZZANI F.: *Biomeccanica del movimento umano - la dinamometria nell'analisi del movimento*. *Atleticastudi*, 3-4:265-284, 1988.
6. DICKINSON A.D.: *The effect of foot spacing on the starting time and speed in sprinting and relation of physical measurements to foot spacing*. Research Quarterly (1 suppl.), 5:12-19, 1934.
7. EMBLING S.: *The sprint start*. Modern Athlete and Coach, vol. 22, 4:30-31, 1984.
8. FAITHFULL P.: *The sprint start*. Modern Athlete and Coach, vol. 24, 1:11-14, 1986.
9. HENRY F.M.: *Force-time characteristics of the Sprint start*. Res. Quart., 23:301-318, 1952.
10. KISTLER J.W.: *A study of the distribution of the force exerted upon the blocks in starting the sprint from various starting positions*. Research Quarterly (1 suppl.), 5:27-32, 1934.
11. MERO A., LUHTANEN P., KOMI P.: *A biomechanical study of the sprint start*. Scand. J. Sports Sci. (1 suppl.), 5:20-28, 1983.
12. MERO A.: *Force-Time characteristics and Running Velocity of Male Sprinters During the Acceleration Phase of Sprinting*. Research Quarterly for Exercise and Sport, vol. 59, 2:94-98, 1988.
13. OWEN LOVEJOY C.: *Evolution of Human Walking*. Scientific American, november, pp. 82-89, 1988.
14. PAYNE A.G., BLADER F.B.: *The Mechanics of the Sprint Start*. In: J. Vredenburg and J. Wartenweiler (eds.), Biomechanics II, pp. 225-231. S. Karger, Basel, 1971.
15. TELLEZ T., DOOLITTLE D.L.: *Sprinting - From start to finish*. Track Technique, 87, pp. 2802-2805, 1984.
16. VITTORI C.: *Proposizione di un modello tecnico-biomeccanico della prestazione dei 100 m*. *Atleticastudi*, 6:13-16, 1981.

